НПО «ИнформТЭИ»

Т. Ф. Беляев

РАКЕТНЫЕ ЗАРЯДЫ К СНАРЯДАМ РЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗАЛПОВОГО ОГНЯ (РСЗО ВТОРОГО И ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЙ)

1992

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ИНФОРМАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Т. Ф. Беляев

РАКЕТНЫЕ ЗАРЯДЫ К СНАРЯДАМ РЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗАЛПОВОГО ОГНЯ (РСЗО ВТОРОГО И ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЙ)

Москва
1992

УДК 623.419

Настоящее историко-техническое исследование посвящено основным характеристикам ракетных зарядов и порохов, разработанных в СССР в первые послевоенные годы и положенных в основу реактивных снарядов М-24Ф, М-I40Ф, М-24ФУД и МД-24Ф, относящихся ко второму поколению реактивных систем залпового огня (РСЗО). Показано, что основные тактико-технические характеристики этих снарядов значительно превысили аналогичные характеристики реактивных снарядов периода Великой Отечественной войны.

Исследуются также основные характеристики зарядов и порохов, разработанных для наиболее массовой системы залпового огня "Град", относящейся к третьему поколению РСЗО.

Книга может быть полезна исследователям истории пороховой промышленности и читателям, интересующимся развитием отечественных РСЗО.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое вниманию читателей историко-техническое исследование является продолжением работ, начатых автором в книге "Ракетные заряды и пороха к реактивной артиллерии Советской Армии периода Великой Отечественной войны", опубликованной Центральным научно-исследовательским институтом научно-технической информации (ЦНИИНТИ) в 1987 г., и посвящено ракетным зарядам и порохам к реактивным снарядам систем залпового огня Советской Армии второго и третьего поколений.

Особый интерес к этой странице истории отечественной ракетной техники объясняется важной ее особенностью - исключительной массовостью производства ракетных зарядов для снарядов РСЗО, не имеющей прецедентов во всей истории пороховой промышленности.

Во время многолетнего производства этих зарядов заводы-изготовители приобрели огромный практический опыт, который нуждается в обобщении и анализе научно-технических проблем, возникавших в ходе серийного изготовления зарядов. Это важно еще и потому, что заводы не только производили заряды в предусмотренных планами количествах, но и постоянно вели работу по совершенствованию технологии их изготовления, упрощению конструкторской и технологической документации в целях снижения трудоемкости и себестоимости зарядов, улучшения экономических показателей их производства.

Работа основана на изучении научно-технических отчетов НИИ и заводов, конструкторской и технологической документации, хранящихся в архиве, а также на личном опыте автора, непосредственно занимавшегося этими проблемами многие годы.

Автор считает необходимым кроме научно-технических сведений привести в работе, строго опираясь на данные научно-технических отчетов и чертежей, необходимый минимум информации о тех, кто внес наибольший творческий вклад в создание зарядов и кто принимал непосредственное участие в работах. Этим самым автор желал бы исключить повторение ситуации, когда даже сейчас, спустя почти полвека после окончания Великой Отечественной войны, продолжается дискуссия о том, кто же все-таки может быть отнесен к бесспорным создателям знаменитых "катюш".

Поскольку описанные в исследовании заряды в настоящее время сняты с производства, а также учитывая, что упоминаемые РСЗО были в свое время проданы многим зарубежным странам совместно с технической документацией, нет необходимости делать эти исследования закрытыми для широкого круга читателей.

Автор надеется настоящей публикацией сохранить для истории ракетной техники России одну из ее важных и интересных страниц.

Г л а в а I. РАКЕТНЫЕ ЗАРЯДЫ К СНАРЯДАМ РСЗО ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

I.I. Введение

Реактивные снаряды М-I3, М-8, М-3I и другие сыграли огромную роль в разгроме фашизма в годы Великой Отечественной войны, и в этом их непреходящее значение. Однако конструкции этих реактивных снарядов и их основных элементов, в том числе и ракетных зарядов, отвечая одному из главных требований, предъявляемых к вооружению,- возможности изготовления в массовых количествах на современном для того времени оборудовании, не были оптимальными с научно-технической точки зрения. В этом нет ничего удивительного, так как создание снарядов М-I3, М-8, М-3I и других было лишь первым шагом на пути возрождения ракетной техники после полувекового забвения. Создание более эффективных снарядов и их элементов - закономерное развитие этой области науки и техники в последующие годы.

Одним из главных недостатков РСЗО Советской Армии периода Великой Отечественной войны, который необходимо было устранить в первую очередь, являлась низкая кучность стрельбы (для снарядов М-I3 и М-3I срединное отклонение по дальности составляло I/65 и I/45, а по направлению - около I/45 и I/20).

Уже во время войны в целях улучшения кучности стрельбы были проведены конструктивные изменения снарядов М-I3 и М-3I. Так, в конструкцию ракетного двигателя снаряда М-I3 были введены I2 косо расположенных периферийных отверстий, обеспечивающих вращение снаряда на траектории полета, что улучшило кучность стрельбы по дальности до I/I05, а по направлению - до I/85. Снаряд стал называться М-I3УК (улучшенной кучности).

Конструкция двигателя снаряда М-3I была дополнена четырьмя штуцерами с Г-образными отверстиями, что также, обеспечив некоторое вращение снаряда, привело к улучшению кучности по дальности до I/80, а по направлению - до I/50. Снаряд был назван М-3IУК.

Таким образом, для обоих снарядов улучшение кучности было достигнуто одним и тем же способом - приданием снарядам вращательного движения, что уменьшило влияние на кучность стрельбы эксцентриситета масс снарядов, неизбежно появляющегося при их массовом производстве.

Заслуживает упоминания, что в I944 г. для улучшения кучности стрельбы реактивными снарядами была создана десятизарядная самоходная установка

БМ-13СН на шасси автомобиля, предназначенная для пуска снарядов М-13. На этой установке были применены спиралевидные направляющие, двигаясь по которым оперенные реактивные снаряды получали дополнительное вращение, что улучшало их кучность стрельбы примерно на 10 % по сравнению с кучностью стрельбы этими же снарядами пусковой установкой БМ-13Н.

Принцип улучшения кучности стрельбы за счет придания снаряду необходимой частоты вращения был положен в основу разработок реактивных снарядов для РСЗО второго поколения, проведенных в стране в период 1947-1959 гг. В результате выполненных за это время работ были созданы турбореактивные снаряды М-24Ф, М-140Ф, М-24ФУД и МД-24Ф. Вращение этих снарядов обеспечивалось за счет истечения газов, образующихся при горении ракетного заряда, через косо расположенные сопла, размещенные в донной крышке снаряда. По мере горения заряда частота вращения увеличивалась, достигая максимума к концу работы ракетного двигателя.

Мудрак Сергей Тимофеевич – руководитель работ по созданию ракетных зарядов к турбореактивным снарядам РСЗО второго поколения

Проектирование, конструкторские разработки и испытания всех упомянутых турбореактивных снарядов проводились коллективом Научно-исследовательского института № 1 под руководством главного конструктора Н.П. Горбачева. Разработку и испытания ракетных зарядов для этих снарядов осуществлял Научно исследовательский институт № 6 (НИИ-6).

Особенно большой творческий вклад в создание зарядов для турбореактивных снарядов внес С.Т. Мудрак*.

I.2. Ракетные заряды к снарядам М-24Ф, М-140Ф и М-24ФУД

Период разработки ракетных зарядов к снарядам М-24Ф, М-140Ф и М-24ФУД совпал с периодом крайнего обострения международной политической обстановки, вызванного известной речью премьер-министра Великобритании У.Черчилля в Фултоне в 1946 г. и положившего начало так называемой "холодной" войне. Напряженность политической обстановки требовала от разработчиков боевой техники таких технических решений, которые, существенно повышая тактико-технические характеристики оружия, в то же время позволяли бы освоить его массовое производство в кратчайшее время.

Ракетные заряды к турбореактивным снарядам М-24Ф, М-140Ф и М-24ФУД (рис. 1) имели простейшую конструкцию, в принципе повторявшую конструкцию

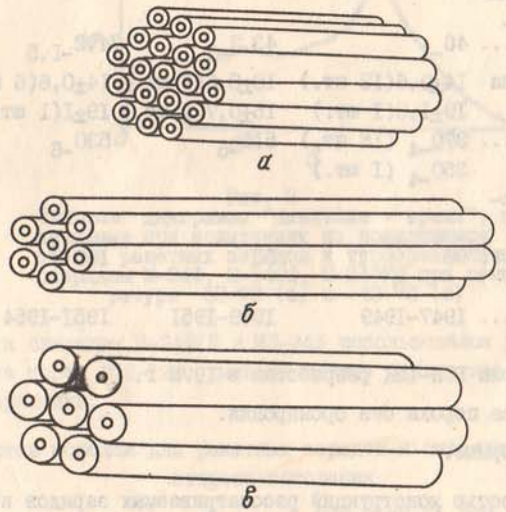

Рис. 1
Общий вид ракетных зарядов к турбореактивным снарядам М-24Ф (а), М-140Ф (б) и М-24ФУД (в)

*Мудрак Сергей Тимофеевич (1906-1990). Родился в Казани. В 1931 г. окончил Казанский государственный университет. С 1932 г. работал в НИИ-6. С 1943 г. начал заниматься ракетной техникой. Под его руководством и при непосредственном участии созданы заряды для многих реактивных систем, в том числе для всех турбореактивных снарядов. Автор многочисленных научных трудов и изобретений по ракетной технике, лауреат Государственной премии СССР. При защите С.Т. Мудраком кандидатской диссертации ученый совет НИИ-6 пришел к выводу, что она удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, и ходатайствовал перед Высшей аттестационной комиссией о присвоении С.Т. Мудраку ученой степени доктора технических наук, с чем ВАК и согласился.

ракетных зарядов военного времени (т.е. состояли из цилиндрических одноканальных шашек). Естественно, что с точки зрения организации серийного производства это было оптимальным решением, поскольку учитывался богатейший опыт изготовления таких зарядов во время Великой Отечественной войны. Все перечисленные выше заряды могли производиться на любом заводе баллиститных порохов без особых трудностей и потерь времени на освоение.

Характеристики ракетных зарядов к снарядам РСЗО второго поколения

	М-24Ф	М-I40Ф	М-24ФУД	МД-24Ф
Порох	ФСГ-2	ФГ-I4 РСИ-I2К*	РСИ-I2К	РСИ-I2К
Масса ракетного заряда, кг	I6,I2±0,065	7,65±0,035	23,97±0,I3	44±0,3**
Число пороховых шашек в заряде ..	I9	7	7	4
Размеры шашек, мм:				
наружный диаметр	46_{-I}	$43{,}3_{-I}$	$74{,}2_{-I{,}5}$	I38x9I***
диаметр канала	I4±0,6(I8 шт.) I9±I,0(I шт.)	I0±0,6(6 шт.) I5±0,7(I шт.)	I4±0,6(6 шт.) I9±I(I шт.)	24xI4,5
длина	370_{-4} (I8 шт.) 350_{-4} (I шт.)	$5I5_{-5}$	530_{-6}	850_{-7}
Масса навески воспламенителя (ДПП-I или ДПП-2), г	90	55	I50	230
Годы разработки зарядов	I947-I949	I949-I95I	I95I-I954	I956-I959

*Заряд из пороха РСИ-I2К разработан в I972 г.

**Указана масса пороха без бронировки.

***Шашки секторные.

Общей особенностью конструкций рассматриваемых зарядов и их отличием от конструкций зарядов военных лет было лишь то, что центральная шашка каждого из зарядов имела увеличенный по сравнению с периферийными шашками диаметр канала. Это было сделано для повышения стабильности срабатывания размещенного в передней части двигателя воспламенителя от луча огня пиропатрона ПП-9, находящегося на противоположном конце ракетной камеры – в центре сопловой крышки. Типовые диаграммы "давление – время", полученные при испытаниях на вращающемся стенде зарядов для снаряда М-24ФУД, в качестве примера даны на рис. 2. Характер диаграмм свидетельствует о разрушении пороховых шашек во второй половине работы двигателя. Необходимой предпосылкой для повышения тактико-технических характеристик ракет второго поколения была разработка новых порохов с улучшенными баллистическими показателями, в частности порохов типа ФСГ, разработанных в НИИ-6 в I947-I948 гг.

Одна из модификаций этого состава – ФСГ-2 – была использована для изготовления зарядов к снарядам М-24Ф и М-I40Ф. Позднее для снаряда М-I40Ф количество теплоты сгорания состава ФСГ-2 в целях снижения уровня максимального давления в ракетной камере было уменьшено за счет допусков на коллоксилин. Этот скорректированный состав применялся только для изготовления зарядов к снарядам М-I40Ф и потому получил наименование ФГ-I4.

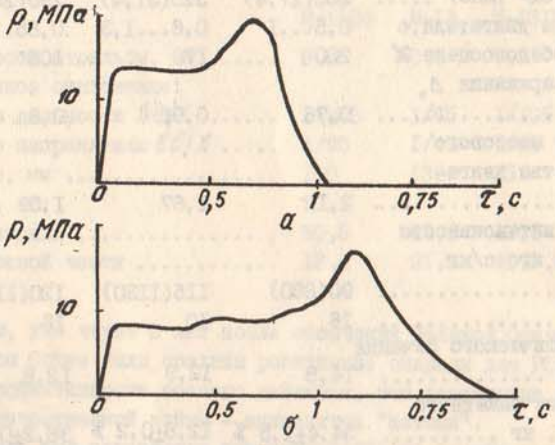

Рис. 2
Типовые диаграммы "давление – время", получаемые при испытаниях на вращающемся стенде ракетных зарядов к турбореактивным снарядам М-24Ф, М-I40Ф, М-24ФУД при температуре 50 °С (а) и –40 °С (б)

Для заряда к снарядам М-24ФУД и МД-24Ф использовался разработанный несколько позднее порох РСИ-I2К, имевший лучшие баллистические и технологические характеристики.

Состав порохов для ракетных зарядов к снарядам РСЗО второго поколения

Содержание, %:	ФСГ-2	ФГ-I4	РСИ-I2К
коллоксилина	55	54,9	56
нитроглицерина	29,3	29,3	26,7
динитротолуола	I0	I0,2	II,3
вазелина или вазелинового масла	I,3	I,3	I,2
централита	3	3	3
катализаторов горения и технологических добавок	I,4	I,3	I,8
Удельная теплота сгорания, кДж/кг	3624	3603	356I

Основные характеристики ракетных двигателей снарядов РСЗО второго поколения

	М-24Ф	М-140Ф	М-24ФУД	МД-24Ф
Полный практический импульс реактивной силы, кгс·с (кН·с)	3150(30,8)	1490(14,6)	4680(45,5)	8580(84,0)
Максимальное давление газов, кгс/см^2 (МПа)	280(27,4)	320(31,4)	290(28,4)	250(24,5)
Время работы двигателя, с	0,5...1	0,6...1,3	0,85...1,8	2,4...4,6
Параметр Победоносцева $\varkappa$	200	170	105	150
Плотность заряжания Δ, кг/дм^3	0,76	0,98	0,6	1,12
Коэффициент массового совершенства двигателя α	2,12	1,67	1,59	1,24
Показатель интенсивности двигателя β, кгс·с/кг (Н·с/кг)	90(880)	115(1130)	120(1170)	160(1570)
Число сопл	16	10	16	16
Диаметр критического сечения сопла, мм	14,8	12,9	12,8	13,2
Масса корпуса ракетного двигателя, кг	34,4±1,5 %	12,8±0,2 %	38,2±0,5 %	54,5±0,6 %
Внутренний диаметр корпуса ракетного двигателя, мм	223,5	-	223,5	223,5
Толщина стенки корпуса ракетного двигателя, мм	6,3	-	6,3	6,3

На основе заряда М-24Ф (см. рис. 1,2) был создан турбореактивный снаряд М-24Ф, заменивший сразу несколько снарядов, находившихся на вооружении Советской Армии в годы Великой Отечественной войны, а именно снаряды М-20, М-30, М-31 и М-31УК.

Основные тактико-технические характеристики снаряда М-24Ф в сравнении с характеристиками снарядов РСЗО первого поколения

	М-24Ф	М-20	М-30	М-31	М-31УК
Дальность стрельбы, км	6,5	5	2,8	4,3	4,0
Срединное отклонение:					
по дальности В∂/Х	1/150	1/30	1/35	1/45	1/80
по направлению Вб/Х	1/100	1/40	1/20	1/20	1/50
Калибр, мм	240,6	132	300	300	300
Масса, кг:					
снаряда	112,25	58	72	92,5	94,5
боевой части	60,8	37,1	52,4	52,4	52,4

Из вышеприведенного видно, что боевая эффективность снаряда М-24Ф значительно выше.

Второй разработанный в послевоенные годы снаряд М-140Ф предназначался для замены снарядов М-13 и М-13УК.

Основные тактико-технические характеристики снарядов М-140Ф, М-13 и М-13УК

	М-140Ф	М-13	М-13УК
Дальность стрельбы, км	9,8	8,5	7,9
Срединное отклонение:			
по дальности В∂/Х	1/200	1/65	1/105
по направлению Вб/Х	1/90	1/45	1/85
Калибр, мм	140	132	132
Масса, кг:			
снаряда	39,5	42,5	42,5
боевой части	18,4	21,3	21,3

Таким образом, уже через 6 лет после окончания Великой Отечественной войны в Советском Союзе были созданы реактивные снаряды для РСЗО значительно большей эффективности боевого действия, чем реактивные снаряды периода Великой Отечественной войны - знаменитые "катюши".

В 1951-1954 гг. был разработан снаряд М-24ФУД на основе заряда М-24Ф (см. рис. 1,а). Этот снаряд, имея достаточно мощную боевую часть, позволил увеличить дальность стрельбы на 60 %.

1.3. Ракетный заряд к снаряду МД-24Ф

По тактико-техническому заданию снаряд МД-24Ф должен иметь максимальную дальность стрельбы не менее 17 км, т.е. на 70 % больше, чем снаряд М-24ФУД.

Оказалось, что создать турбореактивный снаряд, отвечающий этим требованиям, на базе многошашечного заряда из цилиндрических одноканальных шашек невозможно по следующим причинам. Баллистические расчеты показали, что для обеспечения заданной дальности при сохранении массы головной части своего предшественника - снаряда М-24ФУД - необходимо примерно на 80 % увеличить массу ракетного заряда и, следовательно, удлинить ракетную камеру, что привело бы к соответствующему удлинению снаряда в целом. Из аэродинамики полета артиллерийских снарядов известно, что чем длиннее снаряд, тем большую частоту вращения для обеспечения устойчивости полета необходимо ему придать. Если для снаряда М-24ФУД необходимая частота вращения была 9500 об/мин, то для снаряда МД-24Ф она по расчетам возросла бы примерно до 15 000 об/мин, а нагрузка от центробежных сил на цилиндрическую одноканальную шашку увеличилась бы примерно в 2,5 раза.

Но при стендовых испытаниях даже заряда к снаряду М-24ФУД с температурой заряда -40 °С отмечено хрупкое разрушение шашек примерно в середине времени его горения. Ясно, что при увеличении частоты вращения снаряда до 15 000 об/мин процесс разрушения начинался бы значительно раньше и был бы

более интенсивным, вследствие чего давление газов в ракетной камере могло бы превысить допустимый предел, а следовательно, безопасность стрельбы такими снарядами не была бы гарантирована.

Следовало искать более надежные конструкции заряда.

Дополнительным стимулом для поисков другой конструкции было стремление избавиться от общего недостатка всех многошашечных зарядов из цилиндрических одноканальных шашек - невысокой плотности заряжания ракетной камеры.

Созданию заряда к снаряду МД-24Ф предшествовало проведение большой научно-исследовательской работы. Весьма поучительно рассмотреть ее результаты. На рис. 3 представлены варианты зарядов, исследованных с точки зрения возможности их использования для снаряда МД-24Ф.

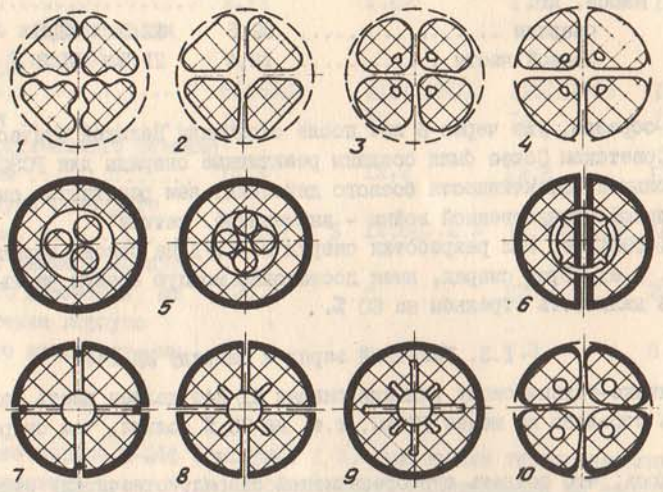

Рис. 3
Варианты исследованных зарядов к ракетному двигателю снаряда МД-24Ф

Эти варианты могут быть разбиты на две группы:

I-я группа - варианты зарядов I-4 (см. рис. 3) из небронированных пороховых шашек. Исследуя эти варианты, разработчики пытались создать простой в технологическом отношении заряд, не требующий после выхода порохового элемента из процесса дополнительных операций.

Варианты I и 2 - заряды из четырех бесканальных шашек Т-образной или трапециевидной формы. Горение зарядов этих вариантов, испытанных в условиях вращающегося стенда, характеризовалось большой дегрессивностью. Снаряды с зарядами Т-образной формы испытывались стрельбой. Полет снарядов был неустойчивым, кучность стрельбы далеко не удовлетворяла ТТТ на снаряд. Испытания стрельбой снарядов с трапециевидным зарядом были признаны нецелесообразными и не проводились. Оба варианта зарядов не могли быть использованы для снаряда МД-24Ф.

Варианты 3 и 4 - заряды из четырех одноканальных секторных шашек с малой (вариант 3) и максимально возможной (вариант 4) площадью контакта между боковой поверхностью шашек и стенками ракетной камеры. При испытаниях зарядов варианта 3 на вращающемся стенде при температуре -40 °С были получены кривые с ярко выраженным вторичным повышением давления газов в конце горения зарядов, что свидетельствовало о хрупком разрушении шашек и могло привести к разрушению ракетного двигателя. Заряды этого варианта были испытаны стрельбой в снаряде М-24Ф. При удовлетворительной дальности полета снаряда кучность стрельбы как при положительных, так и при отрицательных температурах была низкой (особенно по направлению) и не отвечала требованиям, предъявляемым к снаряду.

При испытаниях зарядов варианта 4 на вращающемся стенде было установлено, что при температуре 50 °С происходило интенсивное истечение пороховых газов из зоны контакта боковой поверхности шашек со стенками камеры, что вызывало эрозию стенок камеры и в некоторых случаях приводило к разрушению двигателей.

При испытаниях снарядов с зарядами варианта 4 стрельбой имели место разрушения двигателей снарядов после окончания активного участка полета. При осмотре остатков снарядов, найденных после стрельб, было обнаружено, что стенки ракетных камер размыты пороховыми газами.

Испытания зарядов первой группы показали, что попытки разработчиков создать для снаряда МД-24Ф простой в технологическом отношении заряд не увенчались успехом.

2-я группа - варианты зарядов 5-I0 (см. рис. 3) из бронированных шашек.

Вариант 5 - заряд, состоящий из бронированного по наружной поверхности моноблока, в канал которого помещались со стороны головной части на 2/3 длины камеры две бесканальные шашки, каждая из которых была выполнена в виде восьмерки, а со стороны сопла на I/3 длины камеры - три бесканальные цилиндрические шашки. Такая конструкция заряда обеспечивала достаточно большую массу заряда при приемлемом значении параметра Победоносцева. Однако испытания этого заряда на вращающемся стенде при температуре как 50 °С, так и -40 °С показали неудовлетворительные результаты.

При температуре 50 °С начальный пик давления значительно превышал допустимый предел из-за вдавливания в диафрагму круглых шашек и уменьшения за счет этого площади проходного сечения диафрагмы. При температуре -40 °С в процессе горения возникал второй максимум давления, почти в 2,5 раза превышающий начальное давление, что говорило о хрупком разрушении заряда.

Испытания стрельбой снарядов с зарядом этого варианта не проводились. Заряд для дальнейших испытаний не рекомендовался.

Вариант 6 - заряд, состоящий из двух цилиндрических шашек, из которых одна помещалась в канале другой шашки. Наружная поверхность внешней шашки бронировалась. Для предотвращения разрушения шашек при вращении снаряда каждая шашка была разрезана вдоль на две половины. Поверхности разреза

бронировались. Для центрования малой шашки в канале моноблока на ее поверхность наклеивалось три ряда "сухарей" (по четыре "сухаря" в ряду).

Заряды этой конструкции испытывались на вращающемся стенде при температурах заряда 50 и -40 °С и показали удовлетворительные результаты.

Однако при хранении зарядов выявился их существенный недостаток - превращение цилиндрических полусфер в корытообразные фигуры, что приводило к трудностям при снаряжении зарядов в ракетный двигатель. Учитывая это, а также крайнюю нетехнологичность заряда (фрезерование, бронирование, изготовление и наклейка "сухарей"), работы с этим вариантом продолжения не имели.

Варианты 7 и 8 - заряды, бронированные по наружной поверхности и разрезанные на четыре сектора. В варианте 8 каждый сектор имеет продольные щели для увеличения начальной поверхности горения. Диаграммы "давление - время", полученные при испытаниях на вращающемся стенде при температуре как 50, так и -40 °С, свидетельствовали о большой дегрессивности процесса горения.

Заряды варианта 7 были испытаны стрельбой при температуре 50 и -40 °С. Дальность стрельбы и кучность по направлению не удовлетворяли требованиям, предъявляемым к снаряду. На основании этих результатов дальнейшая отработка данной формы заряда не проводилась.

Вариант 9 - бронированный заряд - моноблок с фигурным каналом. Заряды этой весьма сложной в технологическом отношении формы были изготовлены на среднеуральском заводе. Заряды испытывались на вращающемся стенде при температуре 50 и -40 °С.

Диаграммы "давление - время", полученные при испытаниях, свидетельствовали о том, что характер горения заряда несколько дегрессивный, но закономерный, без резких подъемов и спадов давления. При отрицательной температуре заряда были зафиксированы догорания пороховых остатков. Заряды в составе снаряда испытывались стрельбой. Результаты испытаний были неудовлетворительными.

Учитывая малую технологичность, предполагаемую пониженную физическую стабильность зарядов этой формы и полученные неудовлетворительные результаты стрельб на полигоне, работы с этими зарядами были прекращены.

Вариант 10 - заряд, состоящий из четырех одноканальных секторных шашек, бронированных по наружной поверхности (рис. 4). Изготовленные на среднеуральском заводе заряды были подвергнуты испытаниям во всем диапазоне температур как на вращающемся стенде (рис. 5), так и стрельбой в составе снаряда МД-24Ф.

Из рис. 5 видно, что начальный уровень давления в процессе горения практически не меняется до момента прогорания заряда по каналу, после чего давление газов снижается примерно вдвое и сохраняется таким почти до конца горения заряда. Кривые давления не имели аномальных подъемов и спадов.

На основании этих результатов, полученных в 1957 г., заряд был рекомендован для дальнейших испытаний.

В 1958-1959 гг. были проведены всесторонние испытания зарядов по заводской и государственной программам. В 1959 г. снаряд МД-24Ф с зарядом из

четырех бронированных одноканальных секторных шашек из пороха РСИ-12К был принят в серийное производство и на вооружение Советской Армии.

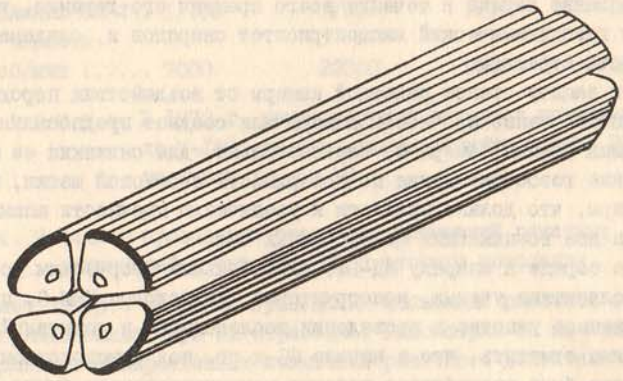

Рис. 4
Ракетный заряд к турбореактивному снаряду МД-24Ф

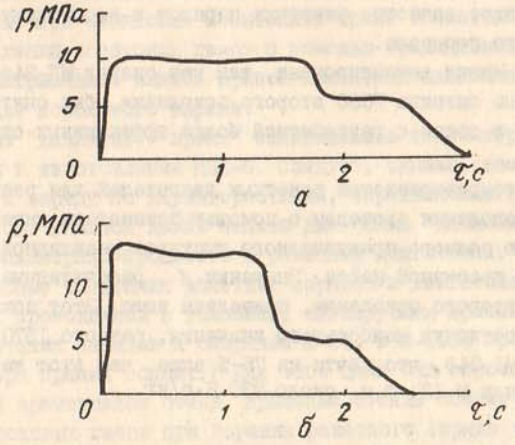

Рис. 5
Диаграммы "давление - время", получаемые при испытаниях на вращающемся стенде ракетного заряда к турбореактивному снаряду МД-24Ф при температуре -40 °С (а) и 50 °С (б)

Таким образом, был создан заряд оригинальной, ранее не встречавшейся конструкции, позволивший резко увеличить баллистическую эффективность реактивного снаряда для РСЗО второго поколения без увеличения калибра снаряда.

мерной количественной связи между температурой заряда и уровнем максимального давления второго подъема кривой не наблюдалось. Эти результаты были получены впервые в стране, и в этом их особая ценность.

3. При испытаниях предусматривалась проверка влияния допусков на теплоту сгорания пороха, на уровень максимального давления газов в камере. С этой целью среднеуральским пороховым заводом были изготовлены две партии зарядов из пороха РСИ-I2К, причем одна из них имела удельную теплоту сгорания ближе к верхнему пределу, а другая - ниже номинала. Испытания этих партий показали, что разница в уровне максимальных давлений при температуре 50 °С составила приблизительно 7 %, а при температуре -40 °С - до I3 %.

Таким образом, были подтверждены полученные еще во время Великой Отечественной войны Особым техническим бюро при среднеуральском заводе, данные о существенном влиянии удельной теплоты сгорания пороха на баллистические характеристики ракетных двигателей.

4. Требования по температуре испытаний зарядов и двигателей к снарядам второго поколения были значительно жестче, чем аналогичные требования к зарядам и двигателям для "катюш".

Напомним, что приемные испытания зарядов к снаряду М-I3 и других проводились только при температуре 40 °С. Испытания при отрицательной температуре заряда вообще не проводились (за исключением крайне редких случаев, когда уровень давлений при температуре 40 °С был чрезмерно низким).

Для зарядов и двигателей второго поколения были предусмотрены приемные испытания при температуре 50 °С, т.е. на I0 °С выше, чем для зарядов и двигателей к "катюшам". Кроме того, были введены обязательные приемные испытания при температуре -40 °С.

Программа государственных стендовых испытаний зарядов и двигателей к снаряду М-24ФУД (а также и к другим) требовала проверки их работоспособности в еще более широком температурном интервале, а именно: от 60 до -50 °С. Предполагалось, что положительные результаты испытаний при этих температурах дадут дополнительную гарантию надежной и безопасной работы заряда и снаряда в целом в заданном ТТТ интервале температур - от 50 до -40 °С. Подобный подход положил начало широкому применению в последующие годы принципа испытаний ракетных зарядов и двигателей при запредельных температурах.

I.5. Разработка ракетного заряда из пороха РСИ-I2К к снаряду М-I40Ф

Массовое производство ракетных зарядов из пороха ФГ-I4 к снаряду М-I40Ф велось в течение длительного времени.

Специалисты заводов, накопив большой опыт изготовления зарядов, дали ряд критических замечаний, касающихся рецептуры пороха ФГ-I4. В частности, они отмечали, что переработка рецептуры пороха ФГ-I4 связана с затруднениями, вызываемыми нетехнологичностью этой рецептуры.

Так, одной из причин нетехнологичности рецептуры указывалась повышенная налипаемость пороховой массы на пресс-инструмент.

Повышенная налипаемость на пресс-инструмент приводила к большому числу негодных пороховых шашек по дефекту, который заключался в повреждении поверхностных слоев шашек ("рвань"), как по поверхности канала, так и по наружной поверхности. На отдельных партиях зарядов брак составлял, %:

южнороссийский комбинат....	до 33
южноуральский завод	до 3I
южноукраинский завод	до 45

Объемы производства зарядов к снаряду М-I40Ф были весьма значительны, поэтому потери от брака в абсолютном выражении также были непомерно большими. Так, например, ежегодные потери от брака по всем заводам составляли в среднем около 200 т по готовой продукции общей стоимостью до 500 тыс. руб.

На этом основании заводы резко ставили вопрос о необходимости существенной корректировки рецептуры пороха ФГ-I4. В октябре I968 г. авторский надзор за серийным изготовлением ряда ракетных зарядов из баллиститных порохов, в том числе и заряда к снаряду М-I40Ф, был передан Научно-исследовательскому институту (далее - НИИ).

Сотрудники института, которым было поручено проведение этой работы (Т.Ф. Беляев, С.Р. Горшков, Г.А. Самойленко, Ю.И. Караулов и др.), проанализировав ход серийного производства зарядов к снаряду М-I40Ф и проведя необходимые теоретические исследования в декабре I969 г., пришли к выводу, что наилучшим решением проблемы явилась бы замена в заряде к снаряду М-I40Ф пороха ФГ-I4 штатным порохом РСИ-I2К, широко применяемым в ракетной технике.

Было показано, что применение пороха РСИ-I2К, имеющего близкие к пороху ФГ-I4 такие основные характеристики, как скорость горения и термодинамический удельный импульс, не потребует никаких конструктивных изменений ни снаряда, ни ракетного двигателя, т.е. будет обеспечена полная взаимозаменяемость зарядов из порохов РСИ-I2К и ФГ-I4 в ракетном двигателе снаряда М-I4Ф. Для подтверждения правильности сделанных предложений было рекомендовано проведение сравнительных стендовых испытаний ракетных двигателей, а также стрельбовых испытаний снарядов М-I40Ф с зарядами из порохов РСИ-I2К и ФГ-I4, изготовленных в условиях серийного производства порохового завода.

В апреле - сентябре I970 г. южнороссийский комбинат изготовил две партии зарядов из пороха РСИ-I2К, удовлетворяющих требованиям конструкторской документации на заряд из пороха ФГ-I4, и провел на своем вращающемся стенде их широкие испытания на соответствие баллистических характеристик требованиям этой же документации. Кроме испытаний в заданном температурном интервале от 50 до -40 °С было проведено I8 опытов при температуре заряда -50 °С, т.е. на I0 °С ниже заданного предела по температуре. Результаты испытаний не только полностью соответствовали требованиям конструкторской документации, но оказались существенно лучше результатов аналогичных испытаний зарядов из пороха ФГ-I4 по значению разброса максимальных давлений и времени горения зарядов в серии испытаний, а также по уровню максимальных давлений в ракетном двигателе.

В этом заряде впервые в истории ракетной техники удалось реализовать те положительные возможности, которые создает бронирование наружной поверхности пороховых шашек, а именно:

центрирование заряда в течение всего времени его горения, что уменьшает массовый и газодинамический эксцентриситет снарядов и, следовательно, улучшает кучность стрельбы;

тепловую защиту стенок ракетной камеры от воздействия пороховых газов, что увеличивает запас прочности камеры или создает предпосылки для уменьшения толщины стенки камеры и, следовательно, для снижения ее массы;

исключение газообразования по поверхности пороховой шашки, прижатой к стенке камеры, что должно привести к увеличению прочности шашки при воздействии на нее возникающих центробежных сил.

Создание заряда к снаряду МД-24Ф было большим творческим достижением и заслугой коллектива ученых, конструкторов, технологов НИИ-6, принимавших непосредственное участие в проведении исследований и испытаний.

Необходимо отметить, что в начале 60-х гг. под руководством проф. Л.А. Смирнова была разработана поточно-механизированная линия для массового производства зарядов к снаряду МД-24Ф.

Линия производительностью 15 комплектов зарядов в час позволила после ее внедрения на южноуральском заводе высвободить 150 человек производственного персонала. Линия, снабженная быстродействующей автоматической пожаротушащей системой (БАПС), устойчиво работала на заводе в течение многих лет, обеспечивая высокое качество ракетных зарядов и необходимую безопасность технологического процесса.

В настоящее время линия демонтирована, так как снаряд МД-24Ф, как и другие турбореактивные снаряды РСЗО второго поколения, был снят с производства и вооружения в связи с разработкой более эффективных систем - РСЗО третьего поколения.

Оценку технического совершенства ракетных двигателей для реактивных снарядов РСЗО второго поколения проведем с помощью показателя интенсивности β, равного отношению полного практического импульса реактивной силы ракетного двигателя к его пассивной массе. Значения β, рассчитанные для ракетных двигателей РСЗО второго поколения, приведены выше. Этот показатель неуклонно повышался, достигнув наибольшего значения, равного 1570 Н·с/кг для двигателя к снаряду МД-24Ф, что почти на 75 % выше, чем этот же показатель для двигателя к снаряду М-13, т.е. около 930 Н·с/кг.

Основные характеристики реактивных снарядов РСЗО второго поколения

	М-24Ф	М-140Ф	М-24ФУД	МД-24Ф
Температурный интервал применения, °С	-40...50	-40...50	-40...50	-40...50
Калибр, мм	240,6	140	240,6	240,6
Длина снаряда, мм	1165_{-6}	1020_{-5}	1183_{-7}	1610_{-7}
Масса снаряда, кг	112,25±1,1 %	39,53±0,5 %	110±1 %	150,6±1,5 %
Масса боевой части, кг	60,8±1 %	18,4±0,25 %	46,5±0,45 %	48,4±0,7 %

Дальность стрельбы, км	6,5	9,8	10,6	16,8
Срединное отклонение:				
по дальности B_{∂}/X	1/150	1/200	1/200	1/185
по направлению $B_{б}/X$	1/100	1/90	1/90	1/70
Максимальная частота вращения, об/мин	7000	22000	9500	15000

Примечание. В 1972 г. температурный интервал применения снаряда М-140Ф за счет использования пороха РСИ-12К был расширен до ±50 °С

1.4. Методика проведения стендовых испытаний ракетных двигателей к снарядам РСЗО второго поколения

Представляет интерес методика проведения испытаний ракетных зарядов и двигателей, применявшаяся при их отработке. Рассмотрим ее на примере проведения стендовых государственных испытаний ракетного двигателя к снаряду М-24ФУД. Испытания проводились в марте - июле 1954 г.

Программа испытаний, учитывая опыт отработки реактивных снарядов РСЗО первого поколения, содержала ряд новых элементов исходя из возросших технических возможностей для более полного и глубокого изучения баллистических и других характеристик ракетных зарядов и двигателей. Отметим некоторые новые элементы комплекса испытаний:

1. Впервые при стендовых испытаниях кроме обязательных замеров максимальных давлений пороховых газов с помощью традиционных крешерных приборов предусматривалась запись кривой изменения давления пороховых газов во время горения порохового заряда.

Диаграмма "давление - время" записывалась тензометрическими датчиками конструкции и изготовления НИИ-6. Следует, однако, заметить, что никаких требований к заряду по характеристикам, определяемым по диаграмме, не предъявлялось. Главной целью записи диаграммы "давление - время" было изучение внутрикамерных процессов в ракетных двигателях.

2. Стендовые испытания ракетных зарядов и двигателей, начиная со снаряда М-24ФУД, проводились в условиях, имитирующих вращение двигателя в полете. (Испытания зарядов к снарядам М-24Ф и М-140Ф проводились на этапе отработки при прямых соплах.) Для этой цели был спроектирован и изготовлен специальный вращающийся стенд. Вращение стенда обеспечивалось за счет истечения пороховых газов при горении ракетного заряда через косо поставленные в крышке боевого двигателя сопла.

На рис. 2 показаны типичные кривые "давление - время", полученные при испытаниях зарядов из цилиндрических одноканальных шашек на вращающемся стенде.

Анализ показал, что при температурах ракетного заряда ниже 18 °С на кривых появляются незакономерные по времени и значению всплески давления. Это не может быть объяснено ничем иным, как разрушением заряда, причем, чем ниже его температура и, следовательно, выше хрупкость пороха, тем интенсивнее, как правило, разрушается заряд. Однако явно выраженной законо-

Анализ показал, что изготовление опытных партий зарядов из пороха РСИ-I2К проведено без всяких затруднений. Применение рецептуры пороха РСИ-I2К позволило:

увеличить производительность прессования в I,5 раза;

вести технологический процесс при постоянных параметрах переработки и повысить его безопасность;

полностью устранить брак по "рвани";

снизить себестоимость заряда примерно на I0 %.

В апреле I97I г. на одном из полигонов были проведены сравнительные стрельбовые испытания снарядов М-I40Ф с ракетными зарядами из порохов РСИ-I2К и ФГ-I4. Результаты этих испытаний приведены в табл. I.

Таблица I

Результаты сравнительных стрельбовых испытаний снаряда М-I40Ф с зарядами из порохов РСИ-I2К и ФГ-I4

Условия испытаний	Температура зарядов, °С	Нормализованная дальность, м		Срединное отклонение по дальности $B\delta/X$		Срединное отклонение по направлению $B\delta/X$	
		ФГ-I4	РСИ-I2К	ФГ-I4	РСИ-I2К	ФГ-I4	РСИ-I2К
Угол возвышения 45°:							
методический							
огонь	+I8	9697	9805	I/348	I/402	I/I3I	I/III
залп	+50	9770	9770	I/299	I/399	I/II7	I/II3
	-40	9893	9855	I/400	I/5I4	I/96	I/I3I
Угол возвышения 2I°30′:							
методический							
огонь	+I8	7I7I	7I80	I/77	I/80	I/I02	I/I65
Угол возвышения I2°30′:							
залп	-40	4809	4927	I/4I	I/70	I/50	I/II8

Примечание. Дополнительно были проведены испытания стрельбой снаряда М-I40Ф с зарядом из пороха РСИ-I2К при температуре заряда 55 °С (8 опытов) и -50 °С (8 опытов). Результаты положительные.

Из табл. I следует:

дальность стрельбы снарядами М-I40Ф с ракетными зарядами из порохов РСИ-I2К и ФГ-I4 на всех дистанциях практически одинакова;

кучность стрельбы снарядами М-I40Ф с зарядами из пороха РСИ-I2К по дальности несколько лучше, чем при стрельбе снарядами с зарядом из пороха ФГ-I4.

На основании этих результатов НИИ весной I972 г. разработал конструкторскую документацию на изготовление и прием зарядов из пороха РСИ-I2К к

снаряду М-I40Ф. Эта документация была утверждена решением МО от I8.07.I972 г.

По основным требованиям документация на заряд из пороха РСИ-I2К имела существенное отличие: возможность боевого использования снаряда М-I40Ф определялась в более широком температурном интервале - от 50 до -50 °С.

Однако к этому времени было развернуто в широком масштабе серийное производство снарядов "Град" конструкции А.Н. Ганичева, относящихся к РСЗО третьего поколения. В связи с этим производство снаряда М-I40Ф и всех его комплектующих резко сократилось, а потому серийное производство зарядов из пороха РСИ-I2К к снаряду М-I40Ф развернуто не было.

Г л а в а 2. РАКЕТНЫЕ ЗАРЯДЫ К РЕАКТИВНЫМ СНАРЯДАМ М-21ОФ РСЗО ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ "ГРАД"

2.1. Введение

Ракетные заряды к снарядам М-21ОФ для РСЗО "Град" изготовлялись рядом заводов по производству баллиститных ракетных порохов в течение почти четверти века – с 1964 по 1989 г. Это обстоятельство требует некоторого пояснения. В основе причин такой продолжительности лежали военно-технические возможности, учитывающие конкретную ситуацию начала 60-х годов, когда в результате создания в США межконтинентальных баллистических ракет как средств нанесения ядерных ударов, не досягаемых для ядерного удара целей на территории Советского Союза, в том числе и особенно уязвимых пороховых заводов в нашей стране не осталось.

Поэтому предполагалось заблаговременное производство необходимого числа ракетных зарядов, причем не только для комплектации параллельно изготовляемых корпусов реактивных снарядов, но и для создания резерва. Это и определяло масштабы производства ракетных зарядов для РСЗО третьего поколения.

Не в последнюю очередь объемы производства зарядов определялись огромным их расходом в бою. Так, для проведения лишь одного залпа РСЗО "Град" из 40 снарядов требовалось примерно 820 кг пороха.

Далее будут рассмотрены вопросы разработки, испытаний заряда 9ХIII из пороха РСИ-12М, его основные характеристики, модернизация этого заряда и стабильность основных баллистических характеристик зарядов в ходе серийного производства и при их хранении в условиях эксплуатации в войсках, случаи аномальной работы заряда 9ХIII и др.

2.2. Отработка ракетного заряда 9ХIII из пороха РСИ-12М и его основные характеристики

Проектирование заряда и стендовая отработка ракетного заряда для снаряда к новой РСЗО были начаты НИИ-6 на основании приказа Государственного комитета по оборонной технике СССР (ГКОТ СССР) от 24.02.59 г. по тактико-техническому заданию НИИ-147 (главный конструктор А.Н. Ганичев).

ТТТ на новый снаряд были выданы несколько позднее, после рассмотрения результатов проведенных работ (ТТТ № 00I0044 от 22.I0.I960 г.).

В соответствии с этими ТТТ реактивный снаряд для новой системы, получившей условное наименование "Град", должен иметь калибр I22 мм и массу не более 65 кг. Максимальная дальность стрельбы должна быть не менее 20 км.

Для обеспечения выполнения ТТТ главный конструктор снаряда предъявил НИИ-6 ряд требований к ракетному заряду, из которых отметим следующие.

Ракетный заряд массой не более 20,6 кг должен обеспечивать полный импульс реактивной силы, измеряемый в стендовых условиях, не менее 4I00 кгс·с (40,2 кН·с) при времени горения заряда при 40 °С не более 2,4 с, при давлении пороховых газов в ракетном двигателе не более I80 кгс/см^2 (I7,6 МПа) (при измерении его крешерными приборами). Заряд должен состоять из двух полузарядов (каждый длиной не более 900 мм) и размещаться в двигателе (рис. 6).

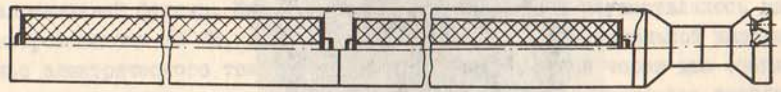

Рис. 6
Схема ракетного двигателя реактивного снаряда к РСЗО "Град"

Приведем некоторые, имеющие принципиальные значения, характеристики двигателя.

В сопловой крышке имеется семь сопл для истечения газов с постоянным диаметром критического сечения каждого сопла I8,87 мм и диаметром выходного сечения сопла 37 мм. Общая площадь критических сечений сопл I9,6 см^2.

Угол конуса на входе в критическое сечение – 75°, а на выходе – 30°. Внутренняя поверхность двигателя покрыта слоем термоизоляции В-58 толщиной до 0,3 мм. Масса корпуса ракетной части – 24,5 кг, со стабилизаторами полета – 26,4 кг.

Корпус ракетной части изготовлен из стали I0ГНА. Ракетная часть испытывается на прочность давлением 300...3I0 кгс/см^2 (29,4...30,4 МПа). Максимальный внутренний диаметр головной трубы составляет II3,27 мм, хвостовой трубы – II2,47 мм.

Коэффициент массового совершенства двигателя α равен I,2. Показатель интенсивности двигателя β составляет I670 Н·с/кг.

К ракетному заряду были предъявлены эксплуатационные требования. В частности, заряд должен обеспечивать нормальную работу двигателя в диапазоне температур заряда от 50 до –40 °С при неизменном диаметре критического сечения сопла и выдерживать в процессе эксплуатации переменную температуру окружающего воздуха от 50 до –60 °С.

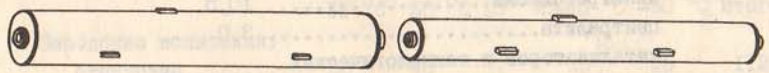

Рис. 7
Ракетный заряд к снаряду РСЗО "Град"

Гарантийный срок хранения заряда должен быть не менее 20 лет, в том числе в полевых условиях – не менее 5 лет. Общий вид заряда показан на рис. 7.

Ракетный заряд был спроектирован и испытан группой сотрудников НИИ-6 под руководством Б.П. Фомина, в которую входили Н.А. Пихунова, А.Я. Володкина, Т.И. Новикова и др.

Фомин Борис Петрович – главный конструктор ракетного заряда 9Х111 к реактивному снаряду М-21ОФ

Для изготовления заряда был использован порох РСИ-I2М, рецептура которого была разработана и впервые применена для изготовления зарядов к авиационным реактивным снарядам научным сотрудником НИИ-6 В.С. Лерновым.

Состав и характеристики пороха РСИ-I2М

Содержание, %:	
коллоксилина	56
нитроглицерина	26,7
динитротолуола	I0,5
централита	3,0
катализаторов и технологических добавок	3,8
Удельная теплота сгорания	3559 кДж/кг
Плотность	не менее I,57 г/см^3
Влажность	не более 0,7 %

Масса пороха составила $20,45^{+0,I5}_{-0,25}$ кг, масса заряда с "сухарями" и торцевыми шайбами – $20,6^{+0,I5}_{-0,25}$ кг.

На каждый полузаряд для обеспечения необходимого зазора между шашкой и внутренней стенкой двигателя при прогибе шашки, неизбежном при длительном хранении в собранном двигателе, наклеивались по шесть "сухарей" длиной 50 мм и шириной I0 мм. Высота "сухарей" для головного полузаряда – 4 мм и для хвостового – 9 мм."Сухари" выполнялись также из пороха РСИ-I2М.

На торцы каждой шашки наклеивались фигурные шайбы, предназначенные для центрирования шашек в ракетной камере. Шайбы изготовляли вначале из нитролинолеума, а затем из материала ЭЦ-I4. Воспламенение заряда осуществлялось воспламенителем, состоявшим из 80 г пороха КЗДП-I и 2 г пороха ДРП-I. Обе навески пороха размещались в отдельных перкалевых картузах, помещенных в алюминиевый футляр. Инициирование воспламенителя осуществлялось двумя электрозапалами МБ-2Н, находящимися в картузе вспомогательной навески. Импульс электрического тока к электрозапалам подавался через два специальных контакта, вмонтированных в корпус воспламенителя. В двигателе воспламенитель крепился между полузарядами. Провода от контактов электрозапалов пропускались через канал хвостовой шашки и центральное сопловое отверстие и крепились к контактной крышке.

Предзаводская стендовая отработка заряда была проведена в I959-I960 гг.

На основании положительных результатов испытаний было принято решение о проведении заводских испытаний (Приказ МО от 30.05.I960 г., приказ ГКОТ СССР от I3.06.I960 г.).

Результаты заводских испытаний, проведенные в I960-I96I гг., включавшие стендовые испытания и стрельбовые проверки, также были положительными, что позволило приступить к наиболее ответственному этапу – государственным стендовым испытаниям.

Для проведения этих испытаний была назначена комиссия под председательством Г.В. Кузнецова. В состав комиссии входили Н.А. Бескровный, Г.А. Денежкин, Н.А. Пихунова, Г.Н. Судакова. Испытания проводились на стендах НИИ-6 с I0 марта по I0 апреля I962 г.

Представляет интерес объем испытаний, который считался в то время необходимым и достаточным для оценки соответствия характеристик ракетного заряда и двигателя требованиям технического задания.

Ниже приведены количественные показатели, полученные в результате заводских и государственных испытаний ракетного двигателя и заряда к снаряду РСЗО "Град" в различных температурных условиях.

Объем заводских и государственных испытаний ракетного заряда к снаряду РСЗО "Град" (I960-I962 гг.)

	55 °С	50 °С	I5 °С	–40 °С	–50 °С	Итого
Заводские испытания:						
стендовые	30	40	7	25	I0	II2
стрельбовые	–	32	46	32	–	II0
Государственные стендовые испытания	I5	32	–	I9	I5	8I
Итого	45	I04	53	76	25	303

Обобщенные результаты стендовых государственных испытаний ракетного заряда к РСЗО "Град"

	55 °С	50 °С	-40 °С	-50 °С
Максимальное крешерное давление газов (среднее в группе), МПа...	I7,9	I7,2	9,4	8,8
Максимальное давление газов в отдельном опыте, МПа.....	I8,5	I8,0	9,8	8,9
Время горения заряда (среднее в группе), с.....	I,32	I,37	2,37	2,60

Типичные кривые "давление - время", полученные при государственных стендовых испытаниях заряда 9XIII при температуре 50 и -40 °С, приведены на рис. 8.

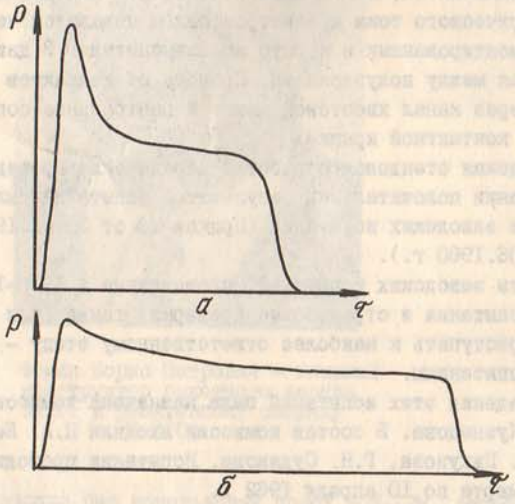

Рис. 8
Диаграммы "давление - время", получаемые при стендовых испытаниях зарядов 9XIII при температуре 50 °С (а) и -40 °С (б)

По результатам стендовых заводских и государственных испытаний исходные требования технического задания системы "Град" были уточнены. В требования на заряд были внесены следующие формулировки:

максимально допустимое крешерное давление для отдельных сжиганий - не более 200 кгс/см^2 (I9,6 МПа);

максимальное (среднее в группе сжиганий) крешерное давление - не более I90 кгс/см^2 (I8,6 МПа);

допустимое отклонение крешерного давления для отдельных сжиганий от среднего в группе не более 8 %;

максимальное (среднее в группе сжиганий) время горения заряда не более 2,5 с.

Была проверена возможность использования корпуса ракетного двигателя без внутренней термоизоляции. Сравнительные испытания двигателей с внутренней термоизоляцией и без нее показали, что исключение термоизоляции в целях некоторого упрощения технологического процесса изготовления двигателей практически недопустимо по причинам:

значительных теплопотерь на нагрев стенок камеры, о чем свидетельствует снижение давления в камере при температуре 50 °С на 20...25 %. Это неизбежно привело бы к падению полного импульса реактивной силы. (Запись кривой "тяга - время" не производилась из-за отсутствия в то время необходимой аппаратуры);

значительного увеличения времени работы двигателя (в среднем на I2 %) при температуре -40 °С (2,7I с вместо 2,42 с);

раздутия камер ракетных двигателей, что объективно снижало бы безопасность работы двигателя.

Кроме определения заданных баллистических характеристик при испытаниях оценивалось влияние на работоспособность двигателя и его баллистические характеристики ряда эксплуатационных факторов. Было экспериментально установлено, что заряд и двигатель обеспечивают нормальную работу после следующих искусственно созданных условий:

транспортирование на I500 км;

пребывание в интервале температур 60...-60 °С с фиксацией по 24 ч через каждый I °С;

Таблица 2

Результаты стрельбовых испытаний снаряда к РСЗО "Град" с зарядом 9XIII (I96I г.)

Температура заряда, °С	Дальность, м	Срединное отклонение	
		по дальности В/Х	по направлению В/Х
50	2I085	I/I57	I/8I
	20240	I/338	I/I95
	2I256	I/253	I/233
	I9630	I/446	I/I52
I5	2I020	I/236	I/III
	20205	I/232	I/I22
	2II07	I/470	I/229
	I9455	I/270	I/I95
-40	20534	I/366	I/I3I
	I9500	I/229	I/I36
	20616	I/389	I/II0
	I9024	I/209	I/I02
ТТТ при I5 °С	20580	I/I80	I/II0

попеременное пребывание при положительных и отрицательных температурах в интервале 60...-60 °С;

сбрасывание в укупорке с высоты 3 м и др.

Результаты стрельбовых испытаний заряда 9ХIII в составе снаряда РСЗО "Град", проведенных в 196I г., даны в табл. 2.

Комиссия по проведению государственных испытаний двигателя и заряда к снаряду РСЗО "Град", отметив в своем заключении соответствие реактивного двигателя с ракетным зарядом из пороха РСИ-I2М ТТТ, рекомендовала ракетный заряд из пороха РСИ-I2М и средства воспламенения для опытно-серийного производства.

В 1963 г. РСЗО "Град" была принята на вооружение Советской Армии, и в этом же году началось ее производство.

2.3. Совершенствование технической и технологической документации на заряд 9ХIII в ходе его серийного производства

В 1968 г. работа по авторскому надзору за производством зарядов 9ХIII была передана одному из институтов (НИИ).

Рассмотрение и решение многих вопросов научно-технического характера, неизбежно возникавших при массовом производстве зарядов 9ХIII на заводах отрасли, осуществлялось НИИ совместно с заводами.

Основные характеристики снаряда М-2IОФ приведены ниже:

Масса, кг:	
снаряда	66,35
головной части со взрывателем	I9,35
ВВ	6,3
корпуса ракетной части	24,5
ракетного заряда	20,65
Длина снаряда	2867...288I мм
Калибр снаряда	I22 мм
Максимальная дальность стрельбы	20,58 км
Диапазон температур боевого применения	-40...50 °С
Срединное отклонение при нормальной температуре, не более:	
по дальности Вд/Х	I/I80
по направлению Вб/Х	I/II0

Головным предприятием по координации работы заводов, изготовлявших заряд 9ХIII, был назначен южноуральский завод. Это было обосновано тем, что почти на каждом пороховом заводе научно-исследовательские лаборатории (НИЛ) совместно с цехами систематически проводили работы по совершенствованию технологического процесса изготовления зарядов, исследованию возможностей по снижению затрат на их производство.

Анализ всех данных о разработанной НИИ-6 конструкции заряда 9ХIII на порохе РСИ-I2М, проведенный НИИ, показал оптимальность ее как с точки зрения обеспечения требований технического задания, так и с точки зрения возможности массового производства зарядов. Никаких изменений в конструкцию этого

заряда НИИ не было внесено, если не считать уменьшения числа "сухарей" на заряде до 8 вместо I2 и уточнения некоторых допусков на размеры шашек и полузарядов, которые не могут, конечно, считаться принципиальными изменениями.

Однако изучение опыта серийного изготовления зарядов с 1964 по 1967 г. позволило наметить комплекс мероприятий, целью которых было значительное снижение трудоемкости и себестоимости зарядов.

Ниже изложены наиболее существенные с экономической точки зрения мероприятия, реализованные после 1968 г.

Технические условия на изготовление предусматривали обязательный 10%-ный контроль всех отпрессованных шашек от каждой партии пороховой смеси на ультразвуковом дефектоскопе (УЗД). В случае обнаружения дефектов, например в виде неспаев или воздушных включений, смесь подвергалась 100%-ному контролю на УЗД.

Группа сотрудников алтайского комбината под руководством А.В. Дранишникова провела в 1969 г. исследование влияния возможных дефектов заряда на его баллистические характеристики. 24 комплекта зарядов, забракованных после контроля на УЗД, подвергли термостатированию при температуре 60 °С в течение 15 сут, после чего снова продефектоскопировали на УЗД. Размеры дефектов увеличились, в отдельных случаях значительно (до 19 раз), что, однако, на результатах баллистических испытаний не отразилось - они были близки к результатам испытаний зарядов без дефектов и полностью удовлетворяли требованиям чертежа.

Исследования влияния внутренних дефектов на баллистические характеристики зарядов были продолжены в 1970-1971 гг. в НИИ Т.Ф. Беляевым, С.Р. Горшковым, А.Н. Соболевым и др. Было показано, что число шашек с дефектами, обнаруживаемых УЗД, незначительно и характеризуется, например, за 1970 г. следующими цифрами: южноуральский завод - 0,07 %, алтайский комбинат - 0,6%, сибирский завод - 0,06 %. Было также подтверждено, что обнаруживаемые на УЗД дефекты на баллистические характеристики двигателя влияние практически не оказывают.

В итоге был сделан вывод о том, что технология изготовления зарядов 9ХIII обеспечивает получение качественных зарядов и что требования по контролю шашек на УЗД из технических условий на заряд целесообразно исключить.

После рассмотрения этих предложений было решено проверять на УЗД 10 % пороховых шашек только при освоении производства зарядов или в случае нарушения технологического процесса прессования шашек.

Одновременно в инструкцию по оценке результатов испытаний на УЗД допуски на внутренние инородные и воздушные включения в пороховых шашках были увеличены в 3...5 раз. Второе существенное изменение исходных требований к заряду касалось условий проведения приемных стендовых испытаний партий зарядов и оценки их результатов.

В 1971 г. в НИИ была проведена статистическая обработка результатов приемных стендовых испытаний серийных партий зарядов 9ХIII, показавшая наличие закономерного соответствия между результатами определения максимального давления газов в ракетной камере крешерными приборами и с помощью датчиков давлений, применяемых заводами. На этом основании отказались от устаревшего

способа определения максимального давления газов крешерными приборами. Диаграммы "давление - время" стали получать с помощью датчиков давления.

Одновременно был разработан план усеченного последовательного контроля давления газов в камере, обеспечивающий уменьшение числа зарядов для испытаний. Было предложено проводить приемные стендовые испытания двумя группами по пять зарядов в каждой при температуре 50 °С одна группа и –40 °С – другая.

Следует отметить, что переход на новый способ проведения и оценки результатов приемных стендовых испытаний зарядов 9XIII привел на практике к значительному экономическому эффекту за счет сокращения в 1,5 раза числа зарядов и стендовых двигателей, используемых для испытаний. Как правило, необходимости в дополнительных испытаниях не возникало.

Начиная с 1971 г., с некоторых заводов, производивших заряды 9XIII, стали поступать в НИИ извещения о том, что заряды бракуются из-за увеличения времени их горения при температуре –40 °С, которое в некоторых партиях достигало 2,55 с и даже 2,6 с (вместо 2,5 с по норме).

Сотрудниками среднеуральского завода С.В. Ламзиным, М.А. Волиным, А.М. Секалиным и другими были проведены специальные исследования влияния технологических и сырьевых факторов на скорость горения пороха и, следовательно, на время горения зарядов. Ими была проведена статистическая обработка данных по времени горения зарядов за 1969–1973 гг. (рис. 9) и проанализировано влияние таких факторов, как содержание влаги в порохе, каче-

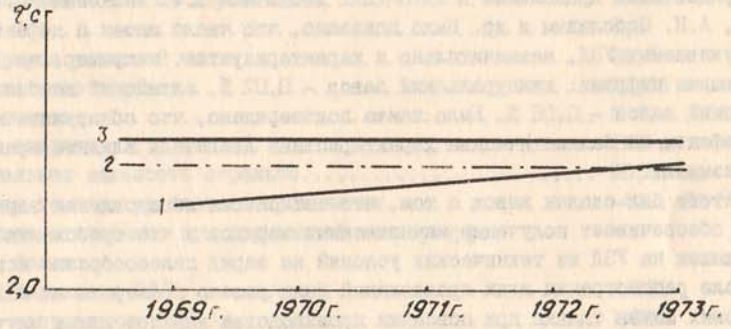

Рис. 9
Изменение времени горения заряда 9XIII из пороха РСИ-12М при температуре –40 °С по данным среднеуральского завода за 1969–1973 гг.:
1 – время горения заряда; 2 – исходные требования по времени горения заряда – 2,5 с; 3 – скорректированные требования – 2,6 с

ство технологической воды, качество добавок, входящих в состав пороха РСИ-12М, производительность формующего аппарата Ш-4, а также качество применяемого коллоксилина.

В результате был сделан вывод о том, что наиболее вероятной причиной повышения времени горения зарядов является качество коллоксилина или, точнее, качество исходной целлюлозы. На основании этих результатов, учитывая, что влиять на качество исходной целлюлозы пороховые заводы практически не могут, среднее для серии из пяти опытов значение времени горения зарядов было увеличено до 2,6 с. При получении неудовлетворительных результатов надлежало провести при температуре –40 °С еще пять испытаний и окончательную оценку провести по 10 опытам.

Оформление этого предложения путем введения его в ТТТ стабилизировало работу заводов.

Немалый экономический эффект был получен путем реализации таких простых и естественных предложений, как уменьшение объема контрольных анализов за счет увеличения числа зарядов в партии до 3000 (вместо 2500) при одновременном увеличении числа пороховых смесей, допускаемых в партию, до пяти (вместо четырех), а также за счет исключения требований об отборе образцов пороха для контроля его физико-химических характеристик в процессе хранения.

Важное значение для нормального хода технологического процесса изготовления зарядов, особенно на поточно-механизированных линиях, имели некоторые технологические упрощения, введенные на фазе приклеивания торцевых центрующих шайб, в частности:

отмена обезжиривания торцев шашек и шайб;

одноразовое нанесение клея (вместо двухразового) и соответствующее сокращение времени приклеивания;

увеличение в 2 раза нормы допустимого затекания клея на наружную поверхность заряда и поверхность канала и отмена требования о зачистке клея по наружной поверхности и поверхности канала;

отмена требования по проверке прочности приклеивания "сухарей" и торцевых шайб.

Исключительно большой экономический эффект получен заменой дорогой и дефицитной герметичной металлической укупорки зарядов негерметичной деревянной. Этому важнейшему мероприятию предшествовала большая работа, выполненная сотрудниками НИИ Б.Д. Гойхманом, В.Н. Жуковым, В.Ф. Шимаровым, С.Р. Горшковым, С.И. Заксом, по исследованию возможности хранения зарядов 9XIII в негерметичной укупорке. Было установлено, что заряды 9XIII при длительном хранении в средах с высокой относительной влажностью сохраняют как достаточно высокий запас прочности, так и баллистические характеристики на уровне требований конструкторской документации. Это позволило сделать вывод, согласовав его с главным конструктором и МО, о том, что заряды 9XIII могут быть допущены к хранению в негерметичной укупорке в любых климатических зонах страны при условии исключения попадания капельно-жидкой влаги и прямого воздействия солнечной радиации. При этом установленный гарантийный срок для зарядов не уменьшался.

В связи с большим количеством изменений техническая документация на заряд 9XIII для снаряда к РСЗО "Град" в 1972 г. была переиздана. Новую документацию подписали сотрудники НИИ и южноуральского завода Т.Ф. Беляев, С.Р. Горшков, В.Н. Шик, О.П. Пильщиков и др., согласовав ее с главным кон-

структором снаряда А.Н. Ганичевым и старшим военным представителем М.Ф. Максимчуком.

9 марта 1972 г. документация была утверждена Л.В. Забелиным.

Серийное изготовление зарядов по новому чертежу всеми заводами отрасли, которые были подключены к их производству, было начато с июля 1972 г.

В результате внедрения в производство новой документации трудоемкость изготовления заряда снизилась на 32 %, а себестоимость на 7...8 % из расчета на 1 комплект.

Годовой экономический эффект из расчета на 500 тыс. зарядов составил 1 млн 343 тыс. руб.

Общий экономический выгрыш для страны, учитывая исключительную массовость производства зарядов, а также многолетний их выпуск, исчисляется десятками миллионов рублей.

В 1976-1977 гг. НИИ совместно с разработчиком снаряда были проведены работы по защите воспламенителя 9Х227 от токов наводки и статического электричества.

В задачу настоящего исследования не входит подробное описание этой большой и специфической работы. Отметим лишь следующее. В период отработки модернизированного воспламенителя на пороховых заводах было изготовлено восемь партий воспламенителей общим числом 1461. Воспламенители с введенными в их конструкцию элементами защиты кроме традиционных испытаний (на герметичность, стойкость к механическим, температурным воздействиям и др.) прошли обширные специальные испытания на стойкость к воздействию электромагнитных полей, электромагнитных импульсов ядерных взрывов, разрядов молнии и зарядов статического электричества. Все испытания прошли с положительными результатами. На этом основании МО и руководство отрасли своим решением от 2 ноября 1977 г. утвердило разработанную НИИ конструкторскую документацию на модернизированный воспламенитель для серийного его производства.

С января 1978 г. пороховые заводы перешли на изготовление этого воспламенителя.

2.4. Стабильность характеристик ракетных зарядов 9ХIII

В процессе производства зарядов 9ХIII пороховые заводы вели систематические наблюдения за стабильностью характеристик ракетных зарядов, которую оценивали, во-первых, по результатам определения скорости горения пороха в приборе постоянного давления, во-вторых, взвешиванием каждого порохового заряда в смеси, и, наконец, в-третьих, по результатам приемных стендовых испытаний пороховых зарядов. В качестве примера рассмотрим полученные алтайским комбинатом результаты испытаний по определению скоростей горения пороха, проводившиеся комбинатом в течение 5 лет (с 1975 по 1979 г.) для каждой пороховой смеси, изготовленной в этот период. Скорости горения пороха определялись при температуре образцов 20 °С и при давлении 4,9 МПа. Обобщенные результаты испытаний приведены в табл. 3 и на рис. 10.

Фактическая масса каждого заряда 9ХIII была определена в 1980 г. для всех партий зарядов, изготовленных комбинатом и сданных заказчику (табл. 4).

Таблица 3

Результаты определения скоростей горения пороха РСИ-12М, изготовленного алтайским комбинатом

Год	Число пороховых смесей	Скорость горения, мм/с			Суммарный разброс, %
		средняя	максимальная	минимальная	
1975	354	8,74	9,10	8,22	10,0
1976	336	8,47	8,90	7,96	11,1
1977	-	8,38	-	-	10,6
1978	-	8,36	-	-	9,4
1979	447	8,50	9,15	7,94	14,2

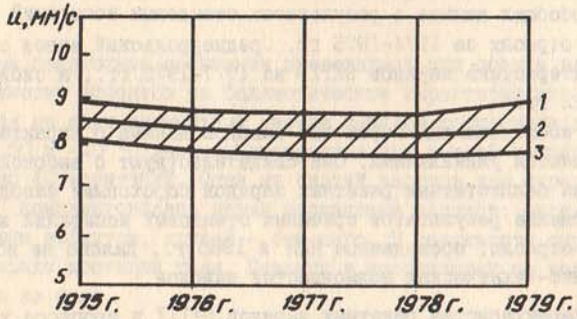

Рис. 10
Скорость горения пороха РСИ-12М при давлении 50 кгс/см^2 (4,9 МПа) и температуре 20 °С по данным алтайского комбината за 1975-1979 гг.:
1 - максимальная; 2 - средняя; 3 - минимальная

Таблица 4

Масса зарядов 9ХIII, изготовленных в 1980 г.

Параметр	Масса зарядов, кг		Разброс массы	
	максимальная	минимальная	кг	%
Требование чертежа для всех партий	20,750	20,350	0,4	±1,0
Фактически	20,675	20,390	0,285	±0,7

Максимальный разброс массы зарядов в единичной партии зарядов из всех изученных партий составил 184 г, при требовании чертежа – не более 200 г. Приведенные выше данные свидетельствуют о высокой стабильности характеристик зарядов 9ХШ к снарядам РСЗО "Град".

Кроме изложенного выше материалы алтайского комбината включают в себя следующие данные за 1975–1980 гг.:

результаты стендовых баллистических испытаний зарядов 9ХШ (время горения зарядов и максимальное давление газов в камере двигателя при температуре зарядов 50 и –40 °С);

характеристики использованных партий коллоксилина (отношение НХ:НД, содержание азота и др.);

технологические характеристики, в частности давление прессования, размеры пресс-инструмента и др.;

физико-химический анализ пороховых смесей, данные о вводе возвратных технологических отходов и др.

Помимо алтайского комбината другие пороховые заводы, производившие заряды 9ХШ, также систематизировали получаемые ими результаты. Так, южноуральский завод обобщил данные о результатах стендовых испытаний зарядов 9ХШ на заводах отрасли за 1974–1976 гг. Среднеуральский завод обобщил баллистические характеристики зарядов 9ХШ за 1977–1979 гг., а сибирский завод – за 1970–1972 гг.

Приведенные в исследованиях пороховых заводов данные о характеристиках зарядов 9ХШ являются уникальными. Они свидетельствуют о высокой стабильности производства баллиститных ракетных зарядов пороховыми заводами страны.

Частичное обобщение результатов приемных стендовых испытаний зарядов 9ХШ на заводах отрасли, проведенное НИИ в 1980 г., далеко не исчерпывает исследования научно-технических возможностей заводов.

Стабильность характеристик ракетных зарядов 9ХШ в процессе хранения. Специальные исследования, проведенные группой сотрудников НИИ (В.В. Бритарев, Б.В. Суров, В.П. Митрохин, Г.И. Сухоруков, Б.Н. Жуков, Л.В. Селезнева, О.С. Деружинская, Г.И. Лавренюк) при участии сотрудников главного конструктора (Г.А. Денежкина и др.) в 1987 г., показали, что результаты стендовых и стрельбовых испытаний зарядов 9ХШ 1967–1978 гг. изготовления соответствуют требованиям конструкторской документации и таблиц стрельбы ТС-74. Был сделан вывод о том, что такие заряды могут быть допущены к снаряжению ракетных частей снарядов РСЗО "Град" после гарантийного срока хранения 20 лет с комплектацией воспламенителями 9Х227М5 1987 г. изготовления.

На основании этих испытаний был сделан чрезвычайной важности вывод о том, что общий срок хранения зарядов 9ХШ с момента изготовления и сдачи их заводом может быть установлен 40 лет.

2.5. Вторичные звуковые эффекты при стендовых испытаниях зарядов 9ХШ

Явление вторичных звуковых эффектов ракетных зарядов 9ХШ впервые проявилось в 1976 г. на южноуральском заводе при приемных испытаниях серийных партий зарядов и выражалось в том, что в отдельных опытах при температуре

зарядов –40 °С через некоторое время после завершения основной работы заряда с характерным для нее резким и высоким уровнем звукового давления возникал дополнительный звуковой эффект. Это явление не укладывалось в рамки требований конструкторской документации, которой предусматривалось, что горение зарядов должно происходить в один прием. Приемка партий зарядов представителем заказчика на заводе была остановлена.

Для выяснения причин возникновения вторичных звуковых эффектов была создана комиссия под председательством научного сотрудника НИИ А.М. Артамонова. В состав комиссии входил главный технолог южноуральского завода О.П. Пильщиков, научный сотрудник НИИ В.В. Шугаев и другие специалисты. Комиссией был проведен ряд исследований, включая стендовые и стрельбовые испытания. Для стендовых испытаний искусственно подбирались заряды, скорости горения головных и хвостовых полузарядов которых отличались на 15 %. Дополнительные звуковые эффекты были зафиксированы в большинстве опытов, причем на диаграммах "давление – время" регистрировались незначительные всплески давления. В наиболее ярко выраженном случае вторичное давление достигало 6,3 кгс/см^2 (0,6 МПа) и возникало через 2,5 с после окончания работы заряда.

Стрельбовые полигонные испытания проводились для оценки влияния явления вторичных звуковых эффектов на баллистические характеристики снаряда РСЗО "Град". Каждая из двух аномальных партий зарядов испытывалась при температуре зарядов 50 и –40 °С десятью выстрелами при каждой температуре. Всего было проведено 40 испытаний. Одна из партий зарядов для стрельб при температуре –40 °С комплектовалась двумя вариантами зарядов: один из них со вторичным звуковым эффектом, другой – без него. В результате стрельбовых испытаний все снаряды достигли цели. Разницы в координатах по дальности стрельбы обнаружено не было.

Комиссия, объяснив, как и ожидалось, наличие вторичного звукового эффекта различием скоростей горения головного и хвостового полузарядов, предложила рекомендации рецептурно-технологического характера, в частности применить более точный способ определения количественного содержания в порохе одного из его компонентов – катализатора горения, от которого в порохе зависит как уровень, так и закон скорости его горения.

Еще раз с явлением вторичного звукового эффекта, но выраженным в значительно более яркой форме, столкнулись 9 лет спустя – в 1985 г. При проведении приемных стендовых испытаний зарядов 9ХШ при температуре –40 °С сначала на алтайском комбинате, а затем и на южноуральском заводе в отдельных опытах было зафиксировано на слух появление повторного звука через 1,5... ...7 с после окончания работы двигателя. И хотя характер осциллограмм и внутрибаллистические характеристики двигателей полностью соответствовали требованиям документации, приемка зарядов 9ХШ была все же остановлена.

Для рассмотрения причин появления этого эффекта были созданы две межведомственные комиссии, работавшие вначале на алтайском комбинате, а затем на южноуральском заводе. В обе комиссии, возглавлявшиеся начальником отдела НИИ Б.В. Суровым, входили представители Главного конструктора снаряда, пороховых заводов и военных приемок на заводах.

Эти комиссии пришли к тому же выводу, что и комиссия А.М. Артамонова в 1976 г. – причина появления вторичных звуковых эффектов при стендовых испытаниях заключается в различии скоростей горения головного и хвостового полузарядов. Однако комиссии Б.В. Сурова, проведя более глубокие исследования, конкретизировали условия, при которых возможно проявление этого эффекта.

На рис. 11 показаны случаи появления вторичного эффекта в виде звука в зависимости, во-первых, от уровня различия скоростей горения полузарядов и, во-вторых, от уровня среднего значения давления газов в камере. Заштрихованный участок соответствует области возможного появления вторичных звуковых эффектов.

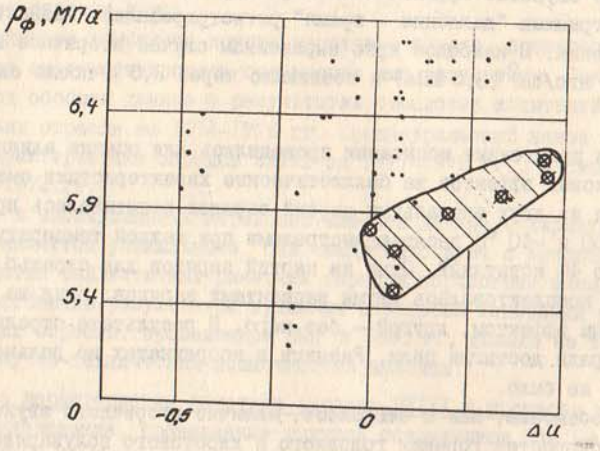

Рис. 11
Результаты проверки наличия вторичных звуковых эффектов при стендовых испытаниях зарядов 9ХIII при температуре –40 °С:
Δu – разность скоростей горения хвостовой и головной шашек, мм/с; ⊗ – звуковой эффект имеется; • – звуковой эффект отсутствует

Из рис. 11 видно:

Вторичные эффекты в виде сильного звука более вероятны, когда скорость горения хвостового полузаряда больше, чем скорость горения головного, и, следовательно, хвостовой заряд сгорает быстрее, оставляя горящим в камере один головной полузаряд. При этом важную роль играет уровень среднего давления газов в камере. Все случаи вторичных звуковых эффектов зафиксированы при средних значениях давлений ниже 63 кгс/см^2 (6,1 МПа).

В том случае, когда скорость горения головного полузаряда выше, чем скорость горения хвостового полузаряда и, следовательно, головной заряд сгорает первым, оставляя в камере один хвостовой полузаряд, вторичный звуковой

эффект в виде сильного и резкого звука практически отсутствует. При значительной разности скоростей горения могут быть лишь звуковые эффекты в виде шипения.

Исходя из результатов исследований, комиссии рекомендовали заводам: во-первых, проведя ряд технологических мероприятий, обеспечить получение скорости горения головного полузаряда равной или больше, чем скорость горения хвостового полузаряда, и, во-вторых, поднять уровень среднего значения давлений газов в камере путем такой дозировки катализатора горения, чтобы содержание его в готовом порохе было выше номинального.

На основании результатов работы комиссии в документацию были введены два уточнения:

звуковые эффекты периода последействия не являются браковочным признаком;

среднее в серии испытаний значение импульса давления за полное время работы двигателя при температуре –40 °С не должно быть менее 147,7 кгс·с/см^2 (14,5 МПа·с), причем это значение в отдельном опыте не должно быть менее 145 кгс·с/см^2 (14,2 МПа·с).

Возможные причины различия скоростей горения головного и хвостового полузарядов, а также причины снижения среднего уровня давления газов в ракетной камере были высказаны военными представителями Б.С. Вербицким и Б.П. Коневым. Они связали их с изменениями технической и технологической документации, которые были введены заводами за время серийного производства зарядов 9ХIII в 1971–1972 гг.

Были указаны такие изменения:

допущено применение разных партий коллоксилина для изготовления одной партии зарядов;

расширена сырьевая база целлюлозы, катализаторов горения, глицерина.

Исключены:

предварительное усреднение возвратных технологических отходов;

факультативное определение скорости горения;

контроль теплоты сгорания топливных смесей и возвратных отходов;

контроль содержания катализаторов и стабилизаторов горения в зарядах;

требование по разбросу максимального давления в серии испытаний (более ±8 %).

Эти мероприятия, безусловно, привели к снижению трудоемкости и себестоимости зарядов 9ХIII, и с этой точки зрения, внедрение большинства из них правомерно и в большинстве случаев может быть оправдано. Однако, с другой стороны, объемы проверок, предшествовавшие обычно внедрению того или иного мероприятия, по вполне понятным причинам могли оказаться недостаточными и только в ходе серийного производства могли проявиться те или иные его негативные стороны, особенно при неблагоприятном сочетании нескольких факторов.

2.6. Аномальные случаи функционирования ракетных двигателей с зарядами 9ХIII

Наиболее строгой проверкой совершенства конструкции ракетного заряда и качества пороха является поведение ракетного заряда при приемных стендовых испытаниях партий этих зарядов, а также при контрольных стрельбовых испытаниях снарядов.

В процессе многолетнего производства снарядов РСЗО "Град" и их комплектующих элементов ракетные заряды многократно подвергались таким испытаниям. В подавляющем большинстве случаев заряды и ракетные двигатели в целом функционировали нормально, обеспечивая необходимый уровень безопасности. Однако были и отдельные случаи их аномальной работы. Под аномальной работой здесь понимается разрушение ракетного двигателя в процессе работы ракетного заряда.

Известны три случая разрушения ракетных двигателей в процессе работы заряда, из них два случая при стендовых испытаниях зарядов и один случай при стрельбовых испытаниях снарядов.

Дадим их краткое описание.

Первый случай зафиксирован 20 марта 1972 г. на южноуральском заводе при стендовых испытаниях зарядов при температуре 50 °С. Разрушение двигателя произошло через 0,1 с после начала работы при давлении газов в камере 463 кгс/см^2 (45,4 МПа).

Однозначно причина установлена не была. Высказывались различные мнения о возможных причинах, а именно:

разрушение хвостовой диафрагмы;

неблагоприятное сочетание допусков на элементы двигателя и порохового заряда;

отсутствие резиновой прокладки между шашкой и хвостовой диафрагмой и др.

Второй случай отмечен 23 июня 1984 г. Испытания проводились по специальной программе при температуре 55 °С на том же заводе. Разрушение двигателя произошло через 1,1 с после начала его работы при давлении 135 кгс/см^2 (13,2 МПа). Первоначальный пик давления был равен 305 кгс/см^2 (29,9 МПа). Запись кривой "давление - время" приведена на рис. 12, б. При осмотре остатков двигателя после испытаний было установлено, что разрушение произошло по цилиндрической части переднего конуса двигателя с отделением соплового блока.

Третий случай разрушения ракетного двигателя произошел 19 марта 1984 г. при стрельбовых испытаниях снаряда РСЗО "Град", проводившихся при температуре заряда 50 °С. Разрушение ракетного двигателя произошло в направляющих машины БМ-21 при залповой стрельбе на 10 км.

По наблюдениям зафиксировано нормальное (обычное) начало работы ракетного двигателя, страгивание снаряда со стопора и продвижение его по направляющей боевой машины на длину 1,4 м. Затем после короткой остановки снаряда последовал разрыв ракетной части. За время остановки до разрыва ракетной части успели сойти с направляющих шесть снарядов, достигнувших заданного района. Остатки разрушенного снаряда и двигателя были найдены и осмотрены. Головная труба двигателя была разрушена, хвостовая оказалась целой.

Однозначно, как и ранее, причина разрушения ракетной части не была установлена. Часть членов комиссии высказала предположение, что причиной разрыва двигателя был длительный нагрев заряда при температуре, близкой к предельной, т.е. 50 °С.

Член комиссии Ю.И. Караулов отверг перегрев заряда как возможную причину разрушения ракетной части.

Проанализировав допуски на размеры хвостовой диафрагмы, он пришел к заключению, что причиной разрушения двигателя явилось оседание хвостовой диафрагмы, имевшей диаметр наружного кольца на нижнем пределе допуска, и перекрытие вследствие этого площади для свободного прохода газов, что и привело к повышению давления в двигателе до разрушающего.

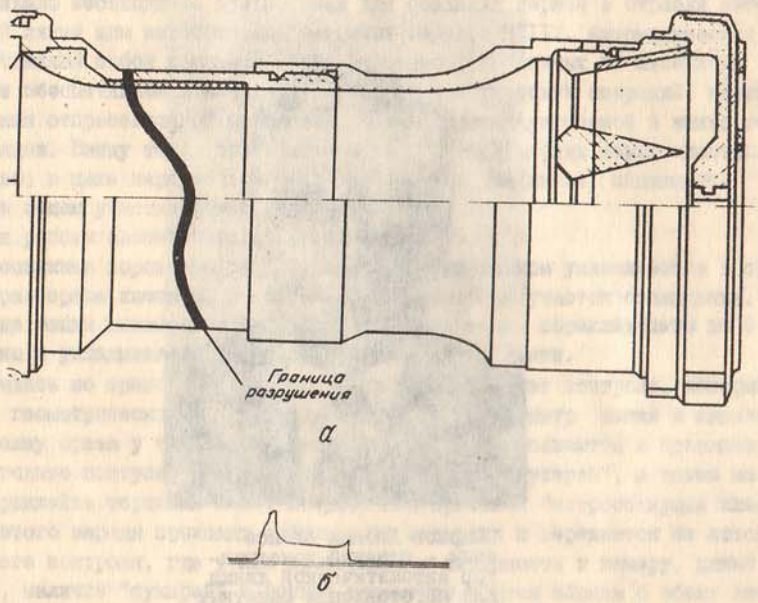

Рис. 12
Характер разрушения двигателя снаряда РСЗО "Град" во время стендовых испытаний при температуре заряда 55 °С 23 июня 1984 г. на южноуральском заводе (а) и кривая "давление - время" (б)

Были случаи разрыва боевой части снарядов РСЗО "Град" на пассивном участке траектории, в частности 22.07.1971 г. и 22.10.1971 г.

Естественно, что работа двигателя к этим аномалиям отношения иметь не может. В этих случаях причины аномалий тоже однозначно не установлены. Их объясняли случайными встречами снарядов со взведенным уже взрывателем с посторонними предметами, например с птицей.

2.7. Обеспечение промышленного производства ракетных зарядов к снаряду РСЗО "Град"

Промышленное производство зарядов к снаряду РСЗО "Град" типа 9Х111 было начато по "ручной" технологии, где все операции выполнялись вручную или с помощью средств малой механизации. Это потребовало больших площадей и значительного числа рабочих, а также транспортных средств. Производство

было весьма трудоемким, малопроизводительным и весьма опасным, так как на ряде операций сосредоточивалось значительное число персонала и накапливались большие массы пороха.

Решение вопроса могло быть достигнуто только за счет перевода производства изготовления зарядов на автоматические линии. Такие линии были созданы под руководством главного конструктора линий проф. Л.А. Смирнова *. Пред-

Смирнов Леонид Алексеевич - главный конструктор автоматической линии для изготовления ракетных зарядов 9XIII к снарядам РСЗО "Град"

*Смирнов Леонид Алексеевич - профессор, доктор технических наук (1964 г.), дважды лауреат Государственной премии СССР (1951 г. - за разработку новых порохов, 1963 г. - за разработку их автоматизированного производства), заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1984 г.). Крупный ученый и специалист в области разработки новых процессов, оборудования и автоматических линий для производства порохов и пороховых зарядов. Под его руководством и при непосредственном участии разработано и внедрено более 45 типов нового высокопроизводительного оборудования, на которое получено 68 авторских свидетельств. Впервые в отрасли под его руководством были разработаны и внедрены поточно-механизированные и автоматические линии для изготовления зарядов различных типов, в том числе пороховых зарядов для систем залпового огня.

В пороховой промышленности начал работать с 1941 г. В годы Великой Отечественной войны работал конструктором (проектировал оборудование и мастерские по изготовлению пороховых зарядов для "катюш"), начальником цеха по изготовлению минометных зарядов. С 1945 по 1953 г. - научный сотрудник НИИ-6 (разрабатывал морозостойкие ракетные пороха), главный инженер по производству. С 1953 по 1966 г. - директор и зам. директора по научной части НИИ, затем - начальник Центрального научно-конструкторского бюро. С 1976 г. на педагогической работе - заведующий кафедрой "Гибкие автоматизированные производства" в Московском институте, с 1987 г. - профессор этой кафедры.

Под его руководством 75 работников отрасли - сотрудники НИИ, КБ и заводов, аспиранты вузов - защитили кандидатские диссертации. Автор более 400 научных печатных работ, в том числе 12 учебных пособий.

Награжден орденами Красной Звезды, Трудового Красного Знамени и медалями.

варительно была тщательно рассмотрена технологическая и конструкторская документация. Ряд трудоемких операций, плохо поддающихся автоматизации (обезжиривание торцев, ручная маркировка зарядов нитроэмалью и др.), был исключен. Было уменьшено число "сухарей" на зарядах и проведены работы по механизации таких операций, как приклейка "сухарей" и торцевых шайб, контроль геометрических размеров зарядов и др.

Это создало необходимые предпосылки для создания первой в отрасли автоматической линии для изготовления ракетных зарядов 9XIII. Автоматическая линия представляла собой комплекс машин-автоматов, собранных по линейному принципу и обеспечивающих выполнение всех технологических операций, начиная с охлаждения отпрессованной пороховой шашки и кончая укупоркой в ящики готовых зарядов. Ввиду того что головной и хвостовой заряды имели однотипную конструкцию, в цехе параллельно были установлены две линии, сходящиеся в конце на общем участке комплектации.

Порядок работы автоматической линии следующий.

Отпрессованные пороховые шашки роботом-укладчиком укладываются в специальные разборные кассеты, в которых и поступают на участок охлаждения. Охлажденные шашки вынимаются из кассет автоматическим перекладчиком по 6 шт. за операцию и укладываются на питающий транспортер линии.

Перемещаясь по транспортеру, заряды проходят автомат контроля, который проверяет геометрические размеры пороховых шашек: диаметр шашки и канала, длину, косину среза у торца. Забракованные шашки сбрасываются в приемник брака, а годные поступают на автомат для приклейки "сухарей", а затем на автомат приклейки торцевых шайб. Впервые был применен быстросохнущий клей.

После этого заряды проходят транспортер выдержки и передаются на автоматы выходного контроля, где у них проверяются: входимость в камеру, длина с шайбами, наличие "сухарей" и другие параметры. Затем заряды с обеих линий (хвостовые и головные) подаются на люльки подвесного конвейера и парами - на автомат взвешивания. Годные и скомплектованные по массе заряды подаются на позицию маркировки, а забракованные удаляются.

Маркировка производится автоматически - методом горячего тиснения. После маркировки заряды поступают на полуавтомат, где они укладываются в специальную тару и специальным погрузчиком увозятся на склад готовой продукции.

Линия оснащена автоматической системой управления технологическим процессом, включающей в себя телевизионные камеры для контроля за работой основного оборудования и контрольные устройства для учета производительности линии, которая была в процессе эксплуатации повышена на 50 % от первоначальной (с 30 до 45 шт. в час). Внедрение линий на заводах позволило сократить длительность технологического цикла на концевых операциях производства зарядов с 56 до 13 ч, уменьшить количество обслуживающего персонала, значительно повысить безопасность работы и т.д. Линия разрабатывалась коллективами конструкторов, из которых особо следует отметить В.В. Вейс, Л.А. Тихонова, А.Н. Бахметьева, М.М. Бабина, В.П. Сапожникова, И.Ф. Сахит, Б.Ф. Соломко, В.Н. Елхова, Б.И. Едиханова.

Стоит отметить творческий вклад в разработку ответственных участков линии специалистов, которые впоследствии под руководством проф. Л.А. Смирнова

по этим разработкам защитили кандидатские диссертации: А.С. Нагорного – главного инженера южноуральского завода в области разработки новых более простых методов комплектации, В.Б. Варганова, разработавшего основные схемы автоматизации, и А.И. Веселова, разработавшего основы и защиту автоматической линии по зонному принципу. Координировал разработку этой линии и предложил ряд важных усовершенствований (контроль контактными датчиками, зонное удаление брака и др.) начальник отдела Министерства В.Н. Баранов.

2.8. Ракетный заряд 9ХIIIМ2 к снаряду РСЗО "Град" из пороха РСТ-4К

Заряд 9ХIII из пороха РСИ-I2М имел два серьезных конструктивных недостатка, из которых главным было различие размеров головного и хвостового полузарядов по наружному диаметру и диаметру канала. Это обстоятельство требовало при поточном изготовлении зарядов синхронной работы двух блоков прессования с различным пресс-инструментом и двух потоков на концевых операциях.

Значительное неудобство представляло наличие на каждом из полузарядов пороховых "сухарей". С одной стороны, это влекло за собой необходимость в дополнительных технологических операциях (прессование из пороховой массы двух типоразмеров "сухарей", приклеивание нитроклеем "сухарей" к зарядам и др.), с другой стороны, выявилась недостаточная сохранность "сухарей" на зарядах в процессе межзаводского транспортирования и сборки на снарядательных заводах, которые неоднократно предъявляли рекламации по этому поводу заводам – изготовителям зарядов.

Еще одним недостатком заряда, по мнению заказчиков, был недостаточный температурный интервал боевого применения. Неоднократно ставился вопрос о расширении температурного интервала применения снаряда до ± 50 °С (вместо интервала 50...–40 °С).

В I968 г. группа сотрудников НИИ (Т.Ф. Беляев, С.Р. Горшков, В.В. Шугаев), проведя анализ характеристик вновь созданного пороха РСТ-4К, пришла к выводу, что на его основе можно создать более простой в технологическом отношении заряд без ухудшения баллистических и эксплуатационных характеристик снаряда РСЗО "Град".

Состав и технические характеристики пороха РСТ-4К

Содержание, %:	
коллоксилина	56
нитроглицерина	27,5
динитротолуола	7,5
стабилизаторов химстойкости	2
катализаторов горения	5,8
технологических добавок	I,2
Плотность	не менее I,67 г/см^3
Удельный импульс	206,8 кгс·с/кг (2029 Н·с/кг)
Скорость горения при t = 20 °С, p = 6 МПа	9,22 мм/с
Показатель закона скорости горения ν	0,23
Температура газов в камере	2313 К

При близости значений таких характеристик порохов РСИ-I2М и РСТ-4К, как удельный импульс, температура газов и других, порох РСТ-4К имеет плотность на 4...5 % больше, чем порох РСИ-I2М. Именно это последнее обстоятельство позволяло рассчитывать на успех. Дело в том, что необходимая масса заряда, а именно 20,6 кг, в случае применения пороха РСТ-4К займет меньший объем в ракетной камере на те же 4...5 %, что увеличит свободный объем в ней и тем самым создаст более благоприятные условия для движения потока газов в камере. А это, в свою очередь, вызвало к жизни идею, нельзя ли получить необходимые баллистические характеристики двигателя, обеспечиваемые зарядом из пороха РСИ-I2М, зарядом более простой конструкции – из двух совершенно одинаковых по размерам пороховых шашек, т.е. зарядом без основного недостатка заряда 9ХIII – различных по размерам шашек.

Для исключения второго недостатка заряда из пороха РСИ-I2М – наличия "сухарей" – решено было центровку зарядов в двигателях обеспечить с помощью продольных выступов, так называемых "зигов". И, конечно, при этом должна остаться без изменений конструкция ракетного двигателя.

Разработчики заряда из пороха РСТ-4К отдавали себе отчет, что только при этом условии, во-первых, можно рассчитывать на доброжелательное отношение к этой инициативной работе со стороны главного конструктора снаряда и, во-вторых, сохранится реальная возможность получения от механических заводов, производящих корпуса ракетных частей и снарядов, необходимого числа корпусов ракетных частей для стендовых и снарядов РСЗО "Град" для стрельбовых испытаний.

Разработанный НИИ заряд состоял из двух полузарядов, для изготовления которых использовалась пороховая шашка, представленная на рис. I3.

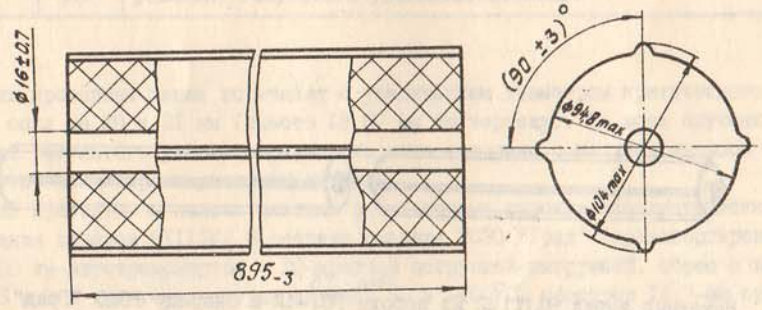

Рис. I3
Шашка из пороха РСТ-4К для заряда 9ХIIIМ2 к снаряду РСЗО "Град"

Профиль зига показан в увеличенном масштабе на рис. I4.

Торцы шашек бронированы центрующими наклейками (шайбами) из материала ЭЦ-I4. Схема разработанного заряда приведена на рис. I5.

Масса заряда в целом не изменилась [(20,55 ± 0,20) кг]. Заряд комплектовался воспламенителем 9Х227Д, который отличался от штатного только уменьшением массы навески черного пороха КЗДП-I до 60 г (вместо 80 г).

Расчет экономического эффекта внедрения заряда 9ХIIIМ2 в производство на автоматизированных поточных линиях заводов показал, что, несмотря на более высокую стоимость пороха РСТ-4К, составлявшую тогда 602 руб. за тонну (стоимость I т пороха РСИ-I2М - 468 руб.), полная себестоимость заряда за счет снижения трудозатрат на производство одного комплекта на 0,69 чел.-ч оказалась меньше на 6 руб. I0 коп. (себестоимости зарядов из порохов РСИ-I2М и РСТ-4К оказались равными 32 руб. 69 коп. и 26 руб. 59 коп. соответственно).

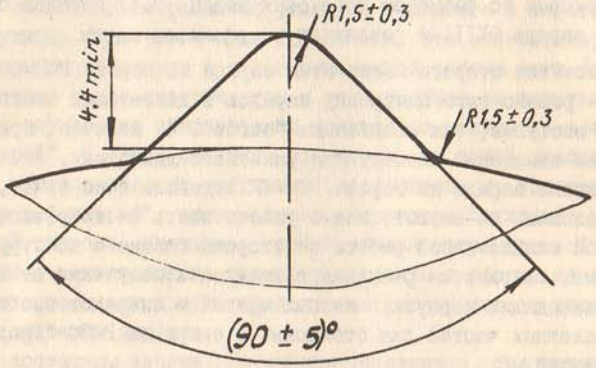

Рис. I4
Профиль зигов на шашках для заряда 9ХIIIМ2

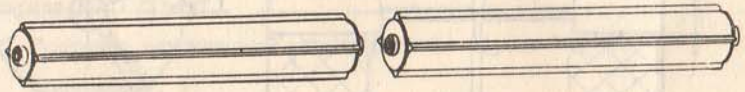

Рис. I5
Ракетный заряд 9ХIIIМ2 из пороха РСТ-4К к снаряду РС30 "Град"

Первая партия зарядов для стендовых и стрельбовых испытаний была изготовлена на сибирском комбинате в I969 г. В дальнейшем к изготовлению зарядов были привлечены и другие заводы. В итоге были изготовлены четыре установочные партии общим числом I933 комплекта.

Партии зарядов 9ХIIIМ2 были подвергнуты всесторонним стендовым испытаниям. Всего был проведен за I970-I972 гг. 36I опыт. Во всех случаях заряд работал стабильно и безотказно. Случаев аномальной работы не было.

Скорости горения, мм/с, порохов РСТ-4К установочных партий при p = I00 кгс/см^2 (9,8 МПа), полученные заводами при различных температурных режимах

	Сибирский комбинат	Южно-уральский завод	Средне-уральский завод	Алтайский комбинат
20 °С....	II,I	I0,6	I0,2	I0,5
50 °С....	I2,2	II,9	II,3	II,8
-50 °С....	9,6	8,8	8,2	8,6

Результаты баллистических испытаний, проводившихся на заключительном этапе по специальной программе, представлены в табл. 5

Таблица 5

Результаты стендовых испытаний заряда 9ХIIIМ2 из пороха РСТ-4К по специальной программе на завершающем этапе

Температура зарядов, °С	Число испытаний	Максимальное давление, кгс/см^2 (МПа)		Время работы, с	
		среднее	предельное	среднее	предельное
50	27	226(22,2)	200...245 (I9,6...24,0)	I,26	I,I8...I,35
20	I3	I73(I7,0)	I62...I8I (I5,9...I7,7)	I,58	I,56...I,60
-50	I6	II3(II,I)	I06...II8 (I0,4...II,6)	2,03	I,99...2,II
55	5	Испытания в запредельных условиях на проверку функционирования. Результаты удовлетворительные			
-55	I0				

Были проведены также испытания с увеличенным диаметром критического сечения сопл до 20 и 2I мм (вместо I8,87 мм по чертежу). Во всех случаях испытаний результаты удовлетворительные, что говорило о наличии запасов по баллистическим характеристикам зарядов.

Были проведены с положительными результатами широкие эксплуатационные испытания зарядов 9ХIIIМ2 в составе снаряда РС30 "Град" (транспортирование на I500 км автотранспортом с I0-кратной погрузкой-выгрузкой, сброс с высоты I,5 и 3 м при температурах зарядов 50 и -40 °С, прострел I2,7-мм пулей с расстояния 200 м при температурах зарядов 50 и -40°С). Было также проведено исследование влияния внутренних дефектов, сколов и волнистости на зарядах 9ХIIIМ2 на характеристики двигателя. Результаты этих исследований позволили отказаться от проведения операции дефектоскопирования зарядов.

В период с I сентября I97I г. по 25 марта I972 г. были проведены совмещенные полигонно-заводские сравнительные испытания снарядов РС30 "Град", укомплектованных зарядами 9ХIIIМ2 из пороха РСТ-4К и зарядами 9ХIII из пороха РСИ-I2М. Всего за это время было проведено 574 выстрела, из них с зарядом из пороха РСТ-4К - 42I выстрел. Во всех случаях функционирование зарядов и снарядов было нормальным.

В табл. 6 проведено сопоставление средних значений нормализованных дальностей, скоростей снарядов и времени работы двигателей в конце активного участка траектории, а также характеристик рассеивания снарядов, полученных при стрельбах с опытными (РСТ-4К) и штатными (РСИ-I2М) зарядами в результате трехдневного сострела снарядами группами по 8 шт. Стрельбы опытными и штатными снарядами производились попеременно.

Результаты проверки функционирования и кучности боя
при залповой стрельбе на максимальную дальность снаряда РС30 "Град"
с зарядом из пороха РСТ-4К

	3.0I.I972	7.0I.I972	I4.0I.I972	I0.I2.I97I (после транспортирования)
Средняя масса заряда, кг	20,607	20,585	20,590	20,580
Средняя масса снаряда, кг	66,I5	66,I5	66,I5	66,0
Температура заряда, °С	+I5	+50	-40	+I5
Опытная дальность, м	I8869	I9II7	I8I97	I9423
Нормализованная дальность, м	I9938	-	-	I9755
Характеристики рассеивания:				
В∂/Х	I/274	I/I80	I/423	I/I98
Вб/Х	I/I00	I/86	I/98	I/I35
площадь эллипса рассеивания, га	4,I	7,4	2,52	4,43

Примечания: I. В каждом залпе - по 20 счетных выстрелов.
2. ТТТ заданы для нормальной температуры:
В∂/Х $\leq$ I/I80, Вб/Х $\leq$ I/II0. Площадь эллипса рассеивания $S_p \leq$ 6,4 га.

Из вышеприведенного видно:

характеристики рассеивания снарядов РС30 "Град" с зарядами из пороха РСТ-4К несколько лучше, чем характеристики снарядов со штатными зарядами из пороха РСИ-I2М;

максимальные дальности стрельбы снарядами обоих вариантов при температурах зарядов I5 и 40 °С примерно одинаковы. При температуре зарядов -40 °С дальность стрельбы снарядами с зарядами из пороха РСТ-4К примерно на I % больше, чем штатного снаряда;

стрельбы на промежуточные дальности показали, что дальности снарядов с зарядами из пороха РСТ-4К на I...4 % больше, чем дальности штатных снарядов. Это означает, что для стрельбы на промежуточные дальности необходимо введение поправок в таблицы стрельб, разработанные для штатного снаряда РС30 "Град". Объем и условия проведенных полигонных стрельб дают все необходимые материалы для разработки таблиц с поправками.

Комиссия, проводившая испытания, в своем заключении сделала очень важный вывод о том, что опытные заряды из пороха РСТ-4К в составе реактивных снарядов М-2I0Ф являются безопасными в служебном обращении, нормально функцио-

Таблица 6

Сопоставление средних значений нормализованных дальностей, скоростей снарядов и времени работы двигателей в конце активного участка траектории, характеристик рассеивания снарядов РС30 "Град" с зарядами из порохов РСТ-4К и РСТ-I2М, полученных при сравнительных трехдневных стрельбовых испытаниях

Температура заряда, °С	Угол возвышения стволов θ	Нормализованная дальность X, м: опытные заряды из пороха РСТ-4К	Нормализованная дальность X, м: штатные заряды из пороха РСИ-I2М	$X_{оп} - X_{шт}$: м	$X_{оп} - X_{шт}$: %	Разность элементов конца активного участка траектории: оп шт $V_a - V_a$, м/с	Разность элементов конца активного участка траектории: оп шт $\gamma_a - \gamma_a$, с	В∂/Х: опытное	В∂/Х: штатное	Вб/Х: опытное	Вб/Х: штатное
40	48°40′	20III	20I27	-I6	0,08	-I,0	-0,23	I/I50	I/I6I	I/I34	I/I44
I5	48°40′	I9957	I996I	-4	0,02	+I,4	-0,27	I/326	I/I79	I/I53	I/II5
-40	48°40′	I9556	I9349	+207	I,07	+I6	-0,56	I/227	I/I97	I/I44	I/96
I5	30°	I7058	I6862	+I96	I,I6	+I,9	-0,24	I/I9I	I/I54	I/I96	I/I60
I5	I5°	II185	I0757	+428	3,79	+0,8	-0,23	I/98	I/53	I/I83	I/208

нируют в интервале температур 50...–40 °С и в основном удовлетворяют требованиям, предъявляемым к зарядам для снаряда М-2IОФ.

На этом же полигоне были проведены эксплуатационные испытания снарядов М-2IОФ с зарядами из пороха РСТ-4К (транспортирование, сбрасывание с высот I,5 и 3 м, прострел крупнокалиберными пулями и др.), которые подтвердили полученные ранее результаты – соответствие требованиям технического задания.

Однако в отчете по результатам эксплуатационных испытаний было высказано замечание по зарядам из пороха РСТ-4К после сбрасывания двигателей с зарядами в деревянной укупорке с высоты I,5 м на мерзлый грунт при температуре зарядов –40 °С. При осмотре были обнаружены сколы и трещины на зарядах и центрующих наклейках.

Рассмотрев результаты этих испытаний, НИИ осенью I972 г. провел специальные испытания – сбрасывание трех двигателей с зарядами из пороха РСТ-4К с высоты I,5 м плашмя на стальное основание. Заряды были охлаждены до температуры –40 °С. Затем двигатели расснаряжались и осматривались. На всех шести полузарядах были обнаружены сколы, причем наибольшая длина сколов доходила до 80 мм, а глубина – до 40 мм. На двух шашках были обнаружены сколы зигов длиной до 4 мм и высотой до 2 мм. На всех головных шашках и на одной хвостовой выступы обеих наклеек из ЭЦ-IЧ были срезаны.

Особого удивления эти результаты не вызвали. Так примерно и должно было быть, учитывая жесткость испытаний. Важно, что не произошло возгорания заряда и срабатывания двигателя.

Представлял интерес ответ на вопрос, каково будет функционирование двигателя, если после его падения в аналогичных условиях он по недосмотру будет допущен к стрельбе. Для этого заряды с полученными дефектами, в том числе и сколотые куски шашек, вкладывались в двигатели, которые затем испытывались в стендовых условиях при температуре –40 °С (два двигателя) и 50 °С (один двигатель). Во всех случаях работа двигателей была нормальной. Баллистические характеристики удовлетворяли требованиям документации. На основании этой работы был сделан важный вывод – сбрасывание снаряженного двигателя в деревянной укупорке плашмя на стальное основание с высоты I,5 м не приводит к нарушению работоспособности заряда из пороха РСТ-4К.

В январе I973 г. Министерством принято решение о порядке завершения работ по заряду из пороха РСТ-4К для снаряда РСЗО "Град", предусматривавшее проведение расширенных стендовых испытаний заряда главным образом с целью проверить надежность его работы в двигателях, имеющих хвостовую трубу, выполненную более прогрессивным методом.

При этом предусматривалось испытание зарядов в более жестких условиях, а именно при температурах зарядов в интервале ±55 °С, а также при уменьшенных до 50 г навесках черного пороха в воспламенителях для испытаний при отрицательных температурах. Заряды и воспламенители для этих испытаний были изготовлены в I973 г. в заводских условиях. В испытаниях I973 г. было проведено 80 опытов.

Результаты испытаний показали, что заряды 9XIIIM2 как в штатных двигателях, так и в двигателях с опытной хвостовой трубой обеспечивают надежную и безопасную работу двигателей, в том числе в запредельных условиях по температуре заряда и навеске воспламенителя.

Таблица 7

Результаты расширенных стендовых испытаний I973 г. зарядов 9XIIIM2 из пороха РСТ-4К в штатных двигателях и в двигателях с опытной хвостовой трубой

Характеристика	Комплектация двигателей при различных температурах заряда									
	штатные двигатели	двигатели с хвостовой трубой опытной	штатные двигатели	двигатели с хвостовой трубой опытной	штатные двигатели	двигатели с хвостовой трубой опытной	штатные двигатели	двигатели с хвостовой трубой опытной		
	50 °С		–50 °С		55 °С		–55 °С			
Число опытов	5	I0	5	I0	I0	I5	9	I6		
Полный импульс реактивной силы, кгс·с (кН·с)	4150 (40,6)	4160 (40,7)	4020 (39,4)	4055 (39,8)	3975 (39,0)	3960 (38,8)	3885 (38,0)	3930 (38,5)		
Время горения заряда, с	I,35	I,39	2,30	2,30	I,3I	I,30	2,24	2,27		
Максимальное давление газов (среднее), кгс/см^2 (МПа)	2I5 (2I,0)	228 (22,4)	99 (9,7)	I05 (I0,3)	227 (22,2)	252 (24,7)	I02 (I0,0)	I06 (I0,4)		
Разброс максимальных давлений, кгс/см^2 (МПа)	208...222 (20,4...2I,8)	2I9...239 (2I,5...23,4)	96...I02 (9,4...I0,0)	98...II4 (9,6...II,2)	2I3...24I (20,9...23,6)	230...275 (22,6...27,0)	84...II0 (8,2...I0,8)	I02...II3 (9,8...II,I)		

Баллистические результаты расширенных стендовых испытаний приведены в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что при переходе на опытную хвостовую трубу максимальное давление газов в двигателе при положительных температурах (50, 55 °С) повысится на 6...7 %, что требовало повышения нормы по максимальному давлению газов.

Такое решение было принято главным конструктором снаряда и НИИ. В соответствии с этим решением максимальное давление в отдельном опыте при температуре 50 °С не должно превышать 255 кгс/см^2 (25 МПа), а предельное значение в серии из пяти испытаний, определяемое по соответствующей формуле, не должно превышать 265 кгс/см^2 (26 МПа).

При получении неудовлетворительных результатов следовало проводить еще одну серию сжиганий из пяти опытов. При этом давление газов надлежало определять крешерным прибором и по осциллограмме. Результаты должны были удовлетворять требованиям:

$p_{креш} \leq$ 250 кгс/см^2 (24,5 МПа);

$p_{прод} \leq$ 265 кгс/см^2 (26 МПа).

На основании положительных результатов стендовых и стрельбовых испытаний НИИ была разработана конструкторская документация на заряд (индекс 9XIIIM2) из пороха РСТ-4К.

Документация, подписанная сотрудниками НИИ Т.Ф. Беляевым, С.Р. Горшковым, В.И. Гришановым, В.В. Шугаевым, была согласована в октябре 1974 г. с главным конструктором снаряда А.Н. Ганичевым, директором южноуральского завода В.Н. Шиком, представителем заказчика М.Ф. Максимчуком и утверждена 11 декабря 1974 г. Л.В. Забелиным.

МО, рассмотрев документацию, утвердило ее (регистрационный номер 3-026094) как документацию литеры $О_1$.

В случае возобновления производства снарядов РСЗО "Град" в качестве ракетного заряда должен быть взят заряд 9XIIIM2 из пороха РСТ-4К как наиболее технологичный. Для его производства не требуется на концевых операциях восстановления поточно-механизированных линий. Достаточно в технологической цепочке иметь станок для приклейки центрующих шайб.

2.9. Использование устаревших порохов в новых рецептурах, пригодных для создания зарядов к снарядам РСЗО "Град"

По состоянию на конец 60-х и начало 70-х гг. в стране накопились значительные запасы пироксилиновых и баллиститных порохов, которые потеряли практическую ценность из-за того, что истекли сроки служебной пригодности этих порохов, или из-за того, что артиллерийские или реактивные системы, для которых были разработаны те или иные пороховые заряды, были сняты с вооружения Советской Армии. Эти пороха для краткости было принято называть устаревшими, хотя компонентный состав их и баллистические свойства или не менялись совсем, или менялись незначительно. И потому термин "устаревшие пороха" звучит несколько условно. Однако в силу традиции в дальнейшем изложении будем придерживаться этого термина.

Естественно, что процесс появления устаревших порохов в арсеналах любых армий является неизбежным и проблема их рационального использования всегда важна и актуальна.

У нас в стране работы по использованию устаревших порохов для создания зарядов к снаряду РСЗО "Град" проводились в двух направлениях:

разрабатывались пороха и заряды из устаревших пироксилиновых порохов;

разрабатывались пороха и заряды из смеси устаревших пироксилиновых и баллиститных порохов.

Новые пороха, созданные с использованием устаревших порохов, принято называть для краткости переделочными.

Разработка переделочного пороха и зарядов из устаревших пироксилиновых порохов. Принципиальная возможность использования устаревших пироксилиновых порохов в качестве сырья для производства баллиститных порохов была подтверждена работами НИИ, Военно-инженерной академии им. Дзержинского и южноуральского завода.

Практическая реализация этой возможности началась в 1968 г. после выхода в свет Постановления Совета Министров СССР от 7.07.1967 г. и приказа по отрасли от 26.07.1967 г. и проводилась в соответствии с ТТТ № 008141.

Руководителем работы по созданию пороха был Б.И. Зотов, ответственными исполнителями - Л.А. Назарова, В.Н. Кореньков, Н.А. Зозуля и др.

После предварительного рассмотрения различных марок пироксилиновых порохов с учетом имеющихся запасов было решено для изготовления порохов баллиститного типа применять взамен коллоксилина устаревшие пироксилиновые пороха марок 7/7, 9/7, 11/7, 14/7, 12/1ТР и др. (в числителе указана в миллиметрах толщина свода порохового элемента, увеличенная в 10 раз, в знаменателе - число каналов).

Эти пороха подлежали предварительной подготовке, заключавшейся в измельчении пороховых элементов на мельницах ДМК в крошку размером не более 1 мм и влажностью не менее 10 %. Для использования подготовленных таким образом пироксилиновых порохов была разработана рецептура баллиститного переделочного пороха, получившая наименование РСИ-12МП.

Состав и характеристики баллиститного переделочного пороха РСИ-12МП.

Содержание, %:

нитроклетчатки	56
нитроглицерина	24,5
динитротолуола	12
вазелинового масла	1,3
централита, дифениламина	3,2
катализаторов горения	3,0
Удельная теплота сгорания	850 ккал/кг (3561 кДж/кг)
Плотность	не менее 1,57 г/см^3

Был разработан технологический процесс изготовления переделочного пороха РСИ-12МП, причем ввод измельченного пироксилинового пороха вместо коллокси-

лина производился на фазе варки. На этой же фазе вводился этилацетат, который в последующем удалялся из пороховой массы (выводилось примерно 50 % этилацетата).

Производительность фазы варки и последующей фазы отжима оказалась примерно в 2...3 раза меньше по сравнению с производительностью этих фаз при изготовлении пороховой массы РСИ-I2М.

Что касается фазы переработки пороховой массы в порох, проводившейся по схеме УВС-Ш3-Ш4, то производительность оборудования не снизилась.

При обследовании характеристик переделочного пороха РСИ-I2МП оказалось, что по сравнению с порохом РСИ-I2М скорости горения его были выше на I0... ...II %, а прочность при нормальной и отрицательной температурах в 2...3 раза ниже.

Изготовление зарядов из пороха РСИ-I2МП для снаряда РСЗО "Град" производилось с сохранением размеров штатного заряда 9XIII.

Стендовые испытания зарядов из пороха РСИ-I2МП были проведены в НИИ.

Оценка экономической эффективности использования устаревших пироксилиновых порохов в качестве сырья для изготовления переделочного пороха РСИ-I2МП показала, что при выпуске зарядов к снаряду РСЗО "Град" до I0 тыс. т в год убыток составит примерно 700 тыс. руб.

На этом основании, а также учитывая необходимость больших капиталовложений для реконструкции ряда цехов в случае внедрения на предприятиях отрасли разработанной технологии, проведение дальнейших работ в этом направлении было признано бесперспективным. Работы были прекращены.

Разработка переделочного пороха и зарядов из смеси устаревших баллиститных и пироксилиновых порохов. Эти работы выполнялись на основании Постановления Совета Министров СССР от I2.02.I97I г. и приказа по отрасли от I0.03.I97I г.

Головным исполнителем был определен НИИ, соисполнителями - южноуральский завод и другие организации и предприятия. Работы по созданию рецептуры и технологии изготовления "переделочного" пороха проводились коллективом в составе: Б.И. Зотов (руководитель работы), Ю.А. Осокин, А.М. Артамонов, О.П. Пильщиков, Г.Г. Гильмутдинов и др.

Разработку и испытания порохового заряда из переделочного пороха для зарядов к снарядам РСЗО "Град" проводил коллектив в составе: Т.Ф. Беляев (руководитель работы), С.Р. Горшков, В.В. Шугаев, С.И. Закс, К.И. Булатов, Н.А. Полтавцев и др.

Важное значение имел правильный выбор марок устаревших порохов, которые подлежали переработке.

По мнению разработчиков, наличие в устаревших баллиститных порохах типа ФСГ, НМФ, РСИ и других катализаторов и стабилизаторов горения усложняло переделку этих рецептур в новые пороха. С этой точки зрения преимущество было отдано тем порохам, в состав которых не входили твердые добавки и запасы которых на складах имелись в достаточных количествах.

К таким относились пороха НДТ-2 и НДТ-3. К моменту начала работ запасы этих порохов были значительны и позволили бы при ориентировке на заряд к снаряду РСЗО "Град" изготовить дополнительно около 4 млн комплектов зарядов.

Состав порохов НДТ-2 и НДТ-3, %

	НДТ-2	НДТ-3
Коллоксилин	56	56
Нитроглицерин	25	26,5
Дибутилфталат	6	4,5
Динитротолуол	9	9
Централит	3	3
Вазелиновое масло	I	I

Следует отметить, что удельная теплота сгорания для пороха НДТ-2 составляет 7I0 ккал/кг (2975 кДж/кг), а для пороха НДТ-3 - 765 ккал/кг (3205 кДж/кг).

Рецептура (в %) переделочного пороха, созданного специально для изготовления ракетных зарядов для снаряда РСЗО "Град" и получившего условное наименование РСИ-МБП, приведена ниже.

Пироксилин, коллоксилин	58
Нитроглицерин, динитродиэтиленгликоль	29,3
Динитротолуол	3,8
Дибутилфталат	2,9
Дифениламин, централит	2,2
Индустриальное масло	I
Катализаторы горения	2,8

Следует отметить, что пироксилин вводится в составе измельченного пироксилинового пороха, коллоксилин - в составе измельченного пороха НДТ-2 или НДТ-3.

Рецептура пороха РСИ-МБП на 76,6 % состоит из устаревших порохов и содержит свежих компонентов только 23,4 %. Это является большим успехом разработчиков пороха.

Физико-химические, термостойкостные, термодинамические, взрывчатые характеристики пороха РСИ-МБП находятся на уровне штатного пороха РСИ-I2М. Прочность на сжатие, естественно, оказалась в I,5 раза ниже. Технологические режимы переработки переделочного пороха РСИ-МБП и штатного пороха РСИ-I2М аналогичны, однако производительность технологического оборудования на фазе изготовления пороховой массы при производстве пороха РСИ-МБП повышалась примерно на 40...45 %.

На основе пороха РСИ-МБП был спроектирован заряд (рис. I6) к двигателю РСЗО "Град", причем никаких конструктивных изменений ракетного двигателя не проводилось. Основным отличием заряда, получившего условное наименование 9XI70М, а затем 9XIIIМ3, является наличие четырех продольных выступов (зигов) вместо "сухарей" на заряде 9XIII. Профиль зигов (увеличенный) показан на рис. I7.

Заряды 9XIIIМ3 были подвергнуты стендовым испытаниям из 232 опытов. Результаты стендовых испытаний показали, что баллистические характеристики заряда отвечают требованиям технического задания на заряд 9XIII из пороха РСИ-I2М, хотя масса заряда оказалась в среднем на 0,25 кг, а полный импульс

реактивной силы на I % меньше, чем у заряда 9XIII. Уровень максимального давления газов в ракетной камере был несколько выше, чем для заряда 9XIII, а потому совместным решением главного конструктора заряда и НИИ предельное давление газов было увеличено до 230 кгс/см^2 (22,5 МПа) вместо 2I0 кгс/см^2 (20,6 МПа).

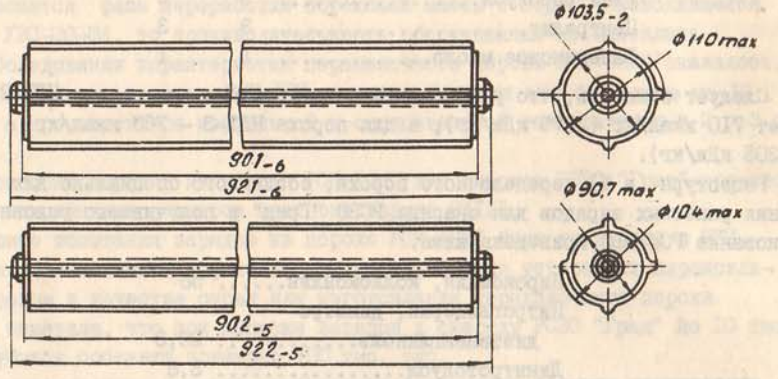

Рис. I6
Ракетный заряд 9XIIIM3 (9XI70M) из переделочного пороха РСИ-МБП к снаряду РСЗО "Град"

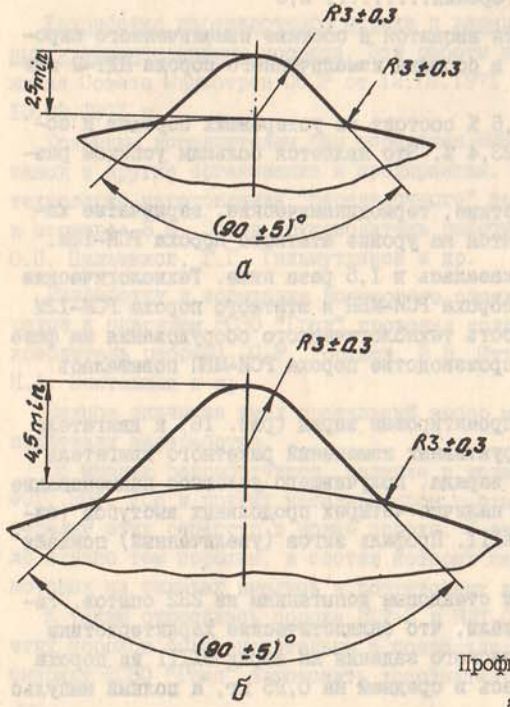

Рис. I7
Профиль зигов ракетного заряда 9XIIIM3 для полузарядов:
а – головного; б – хвостового

Экономический эффект от использования к снарядам РСЗО "Град" зарядов 9XIIIM3 взамен зарядов 9XIII, подсчитанный НИИ, при условном годовом объеме производства 50 тыс. комплектов составил при нулевой стоимости устаревших порохов около 570 тыс. руб.

Всесторонние исследования работоспособности ракетных двигателей с зарядами из переделочного пороха 9XIIIM3 и со штатными зарядами 9XIII были проведены в процессе стрельбовых испытаний снаряда РСЗО "Град" в период с сентября I973 г. по ноябрь I974 г. Испытания проводились в три этапа:

заводской этап: сентябрь – декабрь I973 г.;
дополнительные испытания: январь I974 г.;
полигонные испытания: август – ноябрь I974 г.

Всего было проведено II27 стрельбовых испытаний, их них 552 опыта со штатным зарядом 9XIII и 575 опытов с зарядом из переделочного пороха РСИ-МБП, в том числе при температурах зарядов 50 °С – II4 опытов, –40 °С – II5 опытов и при нормальной температуре – 346 опытов.

Кроме того, при полигонных испытаниях были проверены служебно-эксплуатационные характеристики зарядов и получены положительные результаты, а также были проведены ускоренные климатические испытания зарядов из переделочного пороха, подтвердившие возможность хранения зарядов в негерметичной укупорке в течение установленного ТТТ на этот заряд гарантийного срока I0 лет.

В процессе стрельбовых испытаний зарядов из переделочного пороха было подтверждено, что по функционированию и безопасности при стрельбе снаряд РСЗО "Град" соответствует ТТТ и аналогичен штатному снаряду.

Характеристики рассеивания штатного и опытного снарядов при температуре I5 °С оказались близкими между собой. При температурах зарядов 50 и –40 °С рассеивание снарядов с зарядом из переделочного пороха оказалось (особенно при температуре 50 °С) больше, чем для штатного снаряда.

Нормализованные дальности полета опытных снарядов были несколько меньше, чем штатных, что объяснялось меньшей скоростью опытных снарядов в конце активного участка траектории за счет главным образом меньшей на 0,2 кг массы заряда 9XIIIM3 по сравнению с зарядом 9XIII. По результатам испытаний полигон рекомендовал для варианта снаряда с зарядом из переделочного пороха внести необходимые поправки в таблицы стрельбы, поскольку данных, полученных при полигонных стрельбах, было достаточно для выполнения этой работы. Эти предложения полигона были впоследствии реализованы.

В начале I975 г. НИИ разработал чертеж порохового заряда из переделочного пороха РСИ-МБП для снаряда РСЗО "Град" с индексом 9M2IУ2 (индекс заряда 9XIIIM3). Подписали чертеж сотрудники НИИ С.Р. Горшков, В.В. Шугаев, К.И. Булатов. Согласовали чертеж главный конструктор снаряда "Град" А.Н. Ганичев и представитель заказчика М.Ф. Максимчук. Чертеж был утвержден Т.Ф. Беляевым, О.П. Пильщиковым и Л.В. Забелиным. Позднее заряду была присвоена литера O_2.

Таблица 8

Требования конструкторской документации на ракетные заряды для снарядов к РСЗО "Град"

Параметр	9Х111	9Х111М2 (9Х111Д)	9Х111М3 (9Х170М)
Наименование пороха	РСИ-12М	РСТ-4К	РСИ-МБП
Конструкция заряда	2 полузаряда разных диаметров	2 одинаковых полузаряда	2 полузаряда разных диаметров
Способ центрирования полузарядов	6 "сухарей" - по Ж-А0164-68 4 "сухаря" - по Ж-А0389-72	4 зига	4 зига
Размеры головного полузаряда, мм:			
длина полная	921	921	921
диаметр шашки	103	94,8	103
диаметр канала шашки	24	16	25,5
Размеры хвостового полузаряда, мм:			
длина полная	922	922	922
диаметр шашки	92,5	94,8	90,7
диаметр канала шашки	13,5	16	13,5
Масса заряда, кг	20,6	20,55	20,3
Контроль шашек на УЗД	10 % - при освоении или нарушении техпроцесса	Исключен	Исключен
Число комплектов зарядов в партии	200-2500 - по Ж-А0164-68 1000-3000 - по Ж-А0389-72	200-3000	200-3000
Требования к укупорке зарядов	Металлическая герметичная - по Ж-А0164-68 Деревянная негерметичная - по Ж-А0389-72	Деревянная негерметичная	Деревянная негерметичная

В 1975 г. южноуральский завод начал серийное производство зарядов 9Х111М3 из переделочного пороха РСИ-МБП. Изготовление зарядов велось в течение 5 лет.

Основные требования конструкторской документации ко всем вариантам пороховых зарядов для снаряда РСЗО "Град" и их изменения в процессе серийного производства зарядов приведены в табл. 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1947 г. в стране начались работы по созданию нового поколения РСЗО с более высокой боевой эффективностью. Уже через четыре года были разработаны снаряды М-24Ф и М-140Ф, которые по такой характеристике, как кучность стрельбы, превосходили любой из снарядов семейства "катюш" и полностью заменили их в арсенале Советской Армии. Одной из важных предпосылок, позволивших решить эту задачу в короткое время, была правильность выбора принципиального направления работ по созданию ракетных зарядов, а именно сохранение преемственности их конструкций с конструкциями зарядов к снарядам для "катюш". Это решение позволило сохранить бесценный опыт пороховой промышленности по производству зарядов, приобретенный ею в годы Великой Отечественной войны, и благодаря этому исключить трудности организации массового производства вновь созданных ракетных зарядов и обеспечить их поставки в массовых количествах для снабжения армии.

В дальнейшем в результате исследований, проведенных в НИИ-6, под руководством С.Т. Мудрака был разработан заряд оригинальной, никогда ранее не встречавшейся конструкции, с высокими внутрибаллистическими характеристиками. Этот заряд был положен в основу наиболее эффективного снаряда МД-24Ф РСЗО второго поколения. В итоге реактивные снаряды РСЗО второго поколения по всем боевым характеристикам (кучности боя, дальности стрельбы, массе боевых частей) значительно превосходили характеристики реактивных снарядов, применявшихся в годы Великой Отечественной войны.

В 1959 г. в стране были развернуты работы по созданию новой более эффективной РСЗО. Головной организацией (главный конструктор А.Н.Ганичев) совместно с НИИ-6 (руководитель работ Б.П. Фомин) была выбрана принципиально новая схема снаряда, стабилизация которого обеспечивалась раскрывающимся в полете оперением.

Ракетный заряд состоял из двух полузарядов с тандемным их размещением в двигателе. Это конструкторское решение обеспечило выполнение более высоких тактико-технических требований как по дальности стрельбы, так и по другим характеристикам.

В короткое время был проведен необходимый комплекс работ по проектированию, изготовлению опытных партий снарядов и зарядов, их всесторонним стендовым и стрельбовым испытаниям, освоению в серийном производстве.

В 1964 г. комплекс РСЗО "Град" со снарядами с зарядом из пороха РСИ-12М поступил на вооружение Советской Армии и в серийное производство.

Начиная с 1968 г. авторский надзор за серийным производством зарядов, а также решение всех научно-технических проблем, возникавших в ходе серийного производства, были переданы НИИ. Одновременно с этим НИИ проводил работы по модернизации заряда, а также совместно с пороховыми заводами по улучшению технико-экономических показателей его производства, что привело в итоге с учетом объема производства к экономии многих десятков миллионов рублей. НИИ были разработаны модификация зарядов с лучшей технологичностью (заряд 9Х1113М2 из пороха РСТ-4К), а также заряд с использованием устаревших порохов (заряд 9Х1113М3 из пороха РСИ-МН).

Напряженная работа пороховых заводов страны по производству зарядов для снарядов РСЗО "Град", своевременное оказание со стороны НИИ помощи заводам в течение всего периода производства обеспечивали бесперебойное массовое производство зарядов и явились предпосылкой для утверждения РСЗО "Град" как самой мощной ракетной системы Сухопутных войск.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава I. Ракетные заряды к снарядам РСЗО второго поколения . . . 5
I.I. Введение 5
I.2. Ракетные заряды к снарядам М-24Ф, М-I40Ф и М-24ФУД 7
I.3. Ракетный заряд к снаряду МД-24Ф II
I.4. Методика проведения стендовых испытаний ракетных двигателей к снарядам РСЗО второго поколения I7
I.5. Разработка ракетного заряда из пороха РСИ-I2К к снаряду М-I40Ф I8
Глава 2. Ракетные заряды к реактивным снарядам М-2I0Ф РСЗО третьего поколения "Град" 22
2.I. Введение 22
2.2. Отработка ракетного заряда 9XIII из пороха РСИ-I2М и его основные характеристики 22
2.3. Совершенствование технической и технологической документации на заряд 9XIII в ходе его серийного производства 28
2.4. Стабильность характеристик ракетных зарядов 9XIII 32
2.5. Вторичные звуковые эффекты при стендовых испытаниях зарядов 9XIII 34
2.6. Аномальные случаи функционирования ракетных двигателей с зарядами 9XIII 37
2.7. Обеспечение промышленного производства ракетных зарядов к снаряду РСЗО "Град" 39
2.8. Ракетный заряд 9XIIIМ2 к снаряду РСЗО "Град" из пороха РСТ-4К 42
2.9. Использование устаревших порохов в новых рецептурах, пригодных для создания зарядов к снарядам РСЗО "Град". . . 50
Заключение 58

Редактор А.М. Яганшина
Технический редактор Н.П. Ладыгина
Корректоры: И.Ю. Кучеева, Г.Н. Приходько,
И.В. Панфилова, Л.Н. Фастовская

Подписано в печать I7.03.92 г. Формат 60x90/I6
Объем 3,75 печ.л., 4,2 уч.-изд.л. Изд. № 9577